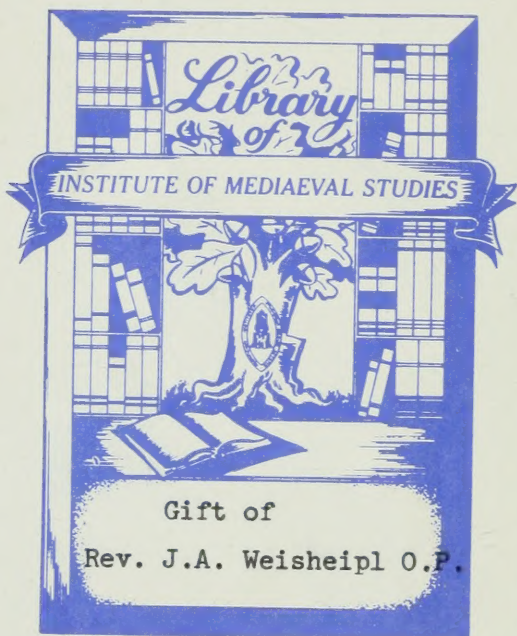


Library
of
INSTITUTE OF MEDIAEVAL STUDIES
Gift of
Rev. J.A. Weisheipl O.P.

LES SOURCES DES THÉORIES PHYSIQUES.

LES ORIGINES DE LA STATIQUE

PAR

P. DUHEM
Correspondant de l'Institut de France,
Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

TOME II

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN
Libraire de S. M. le Roi de Suède
6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1906

LES

ORIGINES DE LA STATIQUE



LES SOURCES DES THÉORIES PHYSIQUES.

LES ORIGINES DE LA STATIQUE

PAR

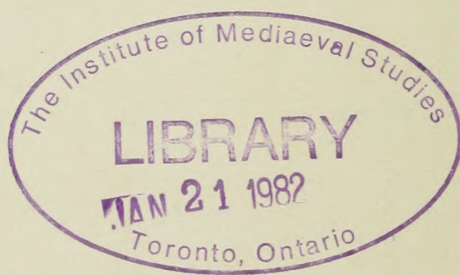
P. DUHEM
Correspondant de l'Institut de France,
Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

TOME II

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE A. HERMANN
Libraire de S. M. le Roi de Suède
6, RUE DE LA SORBONNE, 6

1906

Imprimerie F. & R. Ceuterick, 60, rue Vital Decoster, Louvain.
(Ancienne rue des Orphelins, 32).



PRÉFACE DU TOME II.

Nous commencerons par réparer une injustice involontaire.

En la préface du tome I, nous disions comment, en commençant la publication de nos recherches, nous ignorions la solution du problème du plan incliné empruntée par Tartaglia à l'École de Jordanus. Nous ajoutions que, de cette belle découverte, aucun historien de la Mécanique n'avait fait mention.

Or, en ce point, nous nous trompions.

Depuis plusieurs années, l'Académie des Sciences de Turin avait reçu une importante communication (1) *de M. Giovanni Vailati. En cet écrit, l'auteur étudiait les diverses esquisses du principe des vitesses virtuelles que l'on peut relever dans les ouvrages des mécaniciens grecs.*

C'est parmi ces ouvrages qu'il rangeait l'écrit pillé par Tartaglia, et composé par l'auteur inconnu que nous avons nommé le Précurseur de Léonard.

Nous ne discuterons pas ici l'âge que M. Vailati attribue à ce traité de Mécanique ; cette question sera examinée ailleurs (2). *Nous nous bornerons à déclarer, pour le moment, que le savant professeur de l'Institut Technique de Florence avait très exactement apprécié l'importance de ce traité ; on en jugera par la conclusion qui terminait son exposé :*

(1) Giovanni Vailati, *Il principio dei lavori virtuali da Aristotele a Erone d'Alessandria* (ACCADEMIA REALE DELLE SCIENZE DI TORINO, vol. XXXII, séance du 13 juin 1897).

(2) *Vide infrà*, note F.

« *Pour rencontrer une œuvre en laquelle la Statique se trouve aussi absolument concentrée autour du principe des travaux virtuels, encore que ce principe ne soit conçu que d'une manière partielle et imparfaite ; une œuvre, dirai-je, où la Statique soit assujettie d'une manière si despotique à ce principe ; une œuvre où l'on refuse, d'une manière si rigoureuse, toute initiative, tout droit d'intervenir à l'intuition directe, dont la méthode d'Archimède faisait si largement usage ; pour rencontrer une telle œuvre, dis-je, il faut venir jusqu'à l'opuscule que Descartes a intitulé :* Explicatio machinarum atque instrumentorum quorum ope gravissima quæque pondera sublevantur ; *cet opuscule est, en effet, la première tentative qui ait été faite, après le traité dont nous parlons, pour construire l'édifice entier de la Statique sur le plan que devait réaliser la* Mécanique analytique *de Lagrange.* »

*
* *

Au moyen âge, la Statique était enseignée de deux manières : Dans les Universités, les maîtres-ès-arts rattachaient l'étude des lois de l'équilibre aux commentaires dont ils enrichissaient les écrits cosmologiques d'Aristote ; hors des Universités, on traitait la Statique comme une science mathématique autonome, sans attache avec la Philosophie ; cette science, on en trouvait le dépôt dans des ouvrages que l'on attribuait parfois à Euclide, à Archimède, à Jordanus, dont plus souvent encore, les auteurs étaient simplement désignés par ce terme collectif : Auctores de ponderibus.

Notre premier volume a eu pour principal objet de suivre, parmi mille vicissitudes, le développement des méthodes que les Auctores de ponderibus *avaient créées ; de ce développement est issue la Statique Cartésienne, fondée tout entière sur l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant.*

Les deux premiers chapitres du présent volume nous retraceront l'évolution des idées émises par les maîtres sco-

lastiques ; nous y verrons cette évolution aboutir au célèbre principe de Torricelli : Un système pesant dont le centre de gravité se trouve aussi bas que possible est assurément en équilibre.

Le germe qui devait donner naissance à cette vérité se devine, vague et indistinct, dans les écrits de très anciens commentateurs d'Aristote, de Simplicius par exemple ; au XIVe *siècle, il se précise dans les livres d'Albert de Saxe et prend cette forme :* En tout grave, il y a un point bien déterminé, le centre de gravité, qui tend à se placer au centre des choses pesantes.

Cette proposition qui se montrera extrêmement féconde en conséquences, implique une importante erreur ; l'existence d'un centre de gravité fixe en un corps pesant est liée à la supposition que les verticales des divers points de ce corps peuvent être regardées comme parallèles entre elles ; elle est incompatible avec l'existence, à distance finie, d'un commun centre des choses pesantes. Tout erronée soit-elle, cette proposition s'impose, indiscutée, à tous les esprits ; elle est prise « pour un axiome, le plus clair et le plus évident qu'on peut demander. »

La révolution copernicaine, en déplaçant le centre de l'Univers, ne ruina pas ce principe ; elle l'obligea seulement à se modifier ; le centre de la terre fut substitué au centre commun des graves, et l'axiome ainsi rajeuni put recevoir la constante adhésion de Galilée.

Les conséquences visiblement inadmissibles que Fermat déduisit de cette proposition erronée purent seules en amener la ruine, tandis que les corollaires utiles que l'on en avait déduits prenaient enfin une forme correcte.

Le principe faux qui avait si longtemps dirigé la Statique de l'École, avait aussi produit la théorie géodésique la plus généralement enseignée dans les Universités ; aussi l'histoire de la Science de l'équilibre se trouve-t-elle liée d'une manière inextricable à l'histoire des doctrines qui ont été émises, au

moyen âge et à l'époque de la Renaissance, touchant la figure de la terre et des mers. On ne s'étonnera donc pas que cette dernière histoire se mêle, en notre écrit, à celle des propriétés du centre de gravité.

*
* *

Des notes assez nombreuses terminent notre volume ; elles apportent au lecteur quelques trouvailles, trop tardivement faites pour prendre leur juste place ; de ces trouvailles, les unes se sont présentées spontanément à nous, au cours de nos longues recherches ; les autres nous ont été signalées par la bienveillante compétence de plusieurs de nos lecteurs ; qu'il nous soit permis de leur adresser ici collectivement les remercîments qu'à chacun d'eux nous avons offerts au moment où nous citions ce que nous lui devions.

*
* *

Qu'il nous soit permis également de témoigner notre reconnaissance au R. P. J. Thirion ; à plusieurs reprises son obligeance nous a procuré des documents difficilement accessibles et sa vigilance nous a évité des erreurs qui nous avaient échappé.

Bordeaux, 14 juillet 1906.

P. DUHEM.

LES ORIGINES DE LA STATIQUE

CHAPITRE XV

LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU CENTRE DE GRAVITÉ, D'ALBERT DE SAXE A EVANGELISTA TORRICELLI

PREMIÈRE PÉRIODE

D'ALBERT DE SAXE A LA RÉVOLUTION COPERNICAINE

1. *Énoncé du Principe de Torricelli*

Lagrange a écrit (1) : « Torricelli, fameux disciple de Galilée, est l'auteur d'un autre principe qui dépend aussi de celui des vitesses virtuelles ; c'est que, lorsque deux poids sont liés ensemble et placés de manière que leur centre de gravité ne puisse pas descendre, ils sont en équilibre dans cette situation. Torricelli ne l'applique qu'au plan incliné, mais il est facile de se convaincre qu'il n'a pas moins lieu dans les autres machines. »

C'est dans le recueil intitulé *Opera geometrica Evangelistæ Torricellii* (2), publié à Florence en 1644, que se rencontre l'énoncé du principe dont parle Lagrange.

(1) Lagrange, *Mécanique Analytique*, 1e Partie, Section I, n° 15.

(2) *Opera geometrica* Evangelistæ Torricellii : *De solidis sphæralibus ; De motu ; De dimensione parabolæ ; De solido hyperbolico, cum appendicibus de cycloïde et cochlea.*

A la seconde page, le titre *De sphæra et solidis sphæralibus libri*

Dans la pièce sur le mouvement des graves, Torricelli s'exprime (1) ainsi :

« Nous poserons en principe : *Que deux graves, liés ensemble, ne peuvent se mouvoir d'eux-mêmes, à moins que leur commun centre de gravité ne descende.*

» En effet, lorsque deux graves sont liés ensemble de telle sorte que le mouvement de l'un entraîne le mouvement de l'autre, que cette liaison soit produite par l'intermédiaire de la balance ou de la poulie ou de tout autre mécanisme, ces deux graves se comporteront comme un grave unique formé de deux parties ; mais un tel grave ne se mettra jamais en mouvement, à moins que son centre de gravité ne descende. Or donc, quand il sera constitué de telle sorte que son centre de gravité ne puisse descendre en aucune manière, le grave demeurera assurément en repos dans la position qu'il occupe ; par ailleurs, en effet, il se mouvrait en vain, car il prendrait un mouvement horizontal qui ne tend nullement vers le bas. »

Ce principe, Torricelli le pose afin d'en tirer une solution du problème du plan incliné ; pour quelle raison l'obtention d'une telle solution lui semblait particulièrement souhaitable, nous le verrons plus tard. Aussitôt

duo est suivi de cette mention : Florentiæ, typis Amatoris Massæ et Laurentii de Landis ; 1644.

La pièce qui nous intéressera particulièrement est intitulée : *De motu gravium naturaliter descendentium et projectorum libri duo*, in quibus ingenium naturæ circa parabolicam lineam ludentis per motum ostenditur, et universa projectorum doctrina unius descriptione semicirculi absolvitur.

Nous aurons également à citer cette autre pièce : *De dimensione parabolæ solidique hyperbolici problemata duo, antiquum alterum*, in quo quadratura parabolæ XX modis absolvitur, partim geometricis, mecanicisque ; partim ex indivisibilium geometria deductis rationibus ; *novum alterum*, in quo mirabilis cujusdam solidi ab hyperbola geniti accidentia nonnulla demonstrantur. *Cum appendice, de dimensione spatii cycloïdalis et cochleæ.*

(1) Evangelistæ Torricellii *De motu gravium naturaliter descendentium* liber primus, p. 99.

qu'il a formulé son postulat fondamental, il énonce (1) cette proposition :

« *Si deux graves sont placés sur deux plans inégalement inclinés, mais ayant même élévation, et si les poids de ces graves sont entre eux comme les longueurs de ces plans, ces deux graves auront même momento.*

» Nous montrerons, en effet, que leur commun centre de gravité ne peut descendre, car, quelque mouvement que l'on impose aux deux graves, il se trouve toujours sur la même ligne horizontale... Ainsi deux graves attachés l'un à l'autre se mouvraient, et leur commun centre de gravité ne descendrait pas. Cela serait contraire à la loi d'équilibre que nous avons posée en principe. »

Torricelli revient également à cette loi d'équilibre au début de son écrit *Sur la dimension de la parabole* (2). Il formule, en effet, l'hypothèse suivante, qui devient pour lui la définition même du centre de gravité : « On supposera que la nature du centre de gravité est telle qu'un corps librement suspendu par un quelconque de ses points ne puisse demeurer en repos, tant que le centre de gravité ne se trouve pas au point le plus bas de la sphère sur laquelle il se meut. » Torricelli en déduit sans peine qu'au moment de l'équilibre, le centre de gravité se trouve dans la verticale du point de suspension et au-dessous de ce point.

En cette même pièce (3), Torricelli cherche à tirer de sa règle d'équilibre la loi d'équilibre du levier ; il en donne deux démonstrations équivalentes ; citons seulement la seconde :

Le levier AE (fig. 94) tourne autour du point B. Il porte deux poids, respectivement suspendus en A et en E,

(1) *De motu gravium naturaliter descendentium*, liber primus, Propositio I, p. 99.

(2) Evangelistæ Torricellii *De dimensione parabolæ...*, Suppositiones et definitiones, p. 11.

(3) Torricelli, *loc. cit.*, p. 15.

et en raison inverse des longueurs AB, BE. « Réunissons les deux centres de gravité G, L, par la droite GL. Comme la grandeur du poids L est à la grandeur du poids G dans le même rapport que AB à BE ou bien, pour des raisons de parallélisme, que GN à NL, le centre commun de gravité des deux poids suspendus au levier est en N. Si donc la balance AE ne demeurait pas en

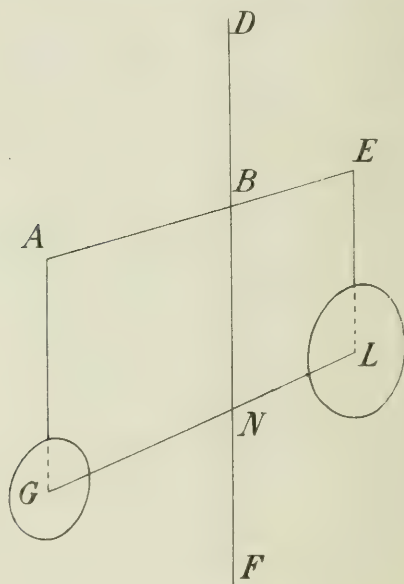


fig. 94.

repos, le centre de gravité N monterait ; car, se trouvant sur la verticale DF, il ne peut se mouvoir qu'il ne monte. »

Torricelli commet ici une inadvertance ; un déplacement virtuel de la balance ne ferait pas monter le point N ; il le laisserait immobile. Dans ce cas, donc, comme dans le cas du plan incliné, le centre commun de gravité des deux poids liés ensemble n'est pas *le plus bas possible ;* il serait aussi bas après un déplacement virtuel. Aujour-

d'hui, et grâce à Lagrange, nous savons relier ce caractère à un autre : Les deux cas d'équilibre traités par Torricelli sont des équilibres indifférents. Au contraire, l'équilibre d'un système de poids est stable lorsque le centre de gravité de cet ensemble de poids est plus bas dans l'état actuel que dans tout état voisin. Nous avons vu que Roberval, précédant Torricelli, avait traité un tel cas d'équilibre stable.

Il ne paraît pas, d'ailleurs, que Torricelli ait eu, touchant les questions de stabilité, les idées aussi nettes qu'elles l'eussent pu être, grâce aux recherches et aux discussions de ses prédécesseurs. La démonstration de la loi d'équilibre du levier, précédemment citée, est suivie (1) du passage que voici :

« Je n'ignore pas qu'une controverse s'est élevée entre les auteurs pour savoir si une balance portant des poids dont les centres se trouvent sur le fléau même, demeurera dans la position où on l'incline, ou bien si elle reviendra à sa position primitive. Quant à nous, dans ce livre, nous avons toujours supposé que les poids se trouvaient suspendus au-dessous du fléau ; nous avons mieux aimé écrire des choses qui soient utiles à notre objet que d'approprier nos démonstrations aux controverses d'autrui. »

Que les centres de gravité des poids soient ou non au-dessous du fléau, cela importe peu à la stabilité de la balance ; cette stabilité dépend de la disposition *du fléau* par rapport au point de suspension ; lorsque le fléau se réduit à une droite passant par le point de suspension, comme en la démonstration de Torricelli, l'équilibre de la balance est indifférent, lors même que les poids pendraient au-dessous du fléau. Ces idées étaient clairement exposées, dès le XIIIe siècle, dans le traité composé par le Précurseur de Léonard de Vinci. Léonard et Benedetti les avaient élaborées à nouveau. On peut s'étonner de

(1) Torricelli, *loc. cit.*, p. 15.

l'ignorance que le plus illustre disciple de Galilée manifeste à leur endroit.

2. *La notion de centre de gravité dans l'Antiquité*

Le principe nouveau introduit en Statique par Torricelli est parvenu à la forme précise que lui a donnée ce géomètre par une lente évolution dont nous allons retracer les phases principales.

Archimède a fréquemment usé de la notion de *centre de gravité* et il nous a appris à marquer ce point en certaines figures planes ; mais celles de ses œuvres qui nous ont été conservées ne renferment aucune définition de cette idée.

Parmi les auteurs de l'antiquité, Pappus est le seul dont nous tenions une définition du centre de gravité.

Imaginons, dit Pappus (1), qu'un corps grave soit suspendu par un axe $\alpha\beta$ et laissons-le prendre sa position d'équilibre. Le plan vertical passant par $\alpha\beta$ « coupera le corps en deux parties équilibres, qui se tiendront en quelque sorte suspendues de part et d'autre du plan, étant égales entre elles par le poids ».

Prenons un autre axe $\alpha'\beta'$ et répétons la même opération ; le nouveau plan vertical passant par le nouvel axe coupera sûrement le précédent ; s'il lui était parallèle, en effet, « chacun de ces deux plans diviserait le corps en deux parties qui seraient à la fois de poids égal et de poids inégal, ce qui est absurde ».

Suspendons maintenant le grave par un point γ et, lorsque le repos sera établi, traçons la verticale $\gamma\delta$ du point de suspension. Prenons ensuite un second point de suspension γ' et, par une opération semblable, traçons une seconde droite $\gamma'\delta'$. Les deux droites $\gamma\delta$, $\gamma'\delta'$ se coupe-

(1) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* e libris manuscriptis edidit Fridericus Hultsch ; Berolini, 1878. Liber VIII, Propos. I et II ; Tomus III, p. 1301.

ront sûrement ; sinon, par chacune d'elles, on pourrait faire passer un plan coupant le corps en deux parties équilibres de telle manière que ces deux plans soient parallèles entre eux, ce que l'on sait être impossible.

Toutes les lignes telles que $\gamma\delta$ se couperont donc en un même point du corps que l'on nommera *centre de gravité*.

Deux remarques doivent être faites au sujet de cette définition. La première est formulée (1) en ces termes par Guido Ubaldo :

Le plan mené par $\alpha\beta$ doit diviser le grave « en deux parties qui soient équipondérantes de part et d'autre ; cela ne veut pas dire qu'elles auraient même poids si on les considérait en elles-mêmes, si on les séparait l'une de l'autre et si on les examinait à la balance. Ce n'est pas ainsi que la chose se passe ; les deux autres parties du corps doivent s'équilibrer dans la situation même qu'elles occupent, de telle sorte que l'une d'elles ne l'emporte pas en pesanteur sur l'autre. »

La définition donnée par Pappus n'est donc pas complète tant que l'on n'a pas défini ce qu'il faut entendre par cette équivalence des deux parties en lesquelles un grave est divisé par tout plan qui contient le centre de gravité. Dans notre langage actuel, cette équivalence s'exprime en disant que ces deux parties ont *même moment* par rapport à ce plan. C'est naturellement à cette notion de moment égal que Pappus et les géomètres qui l'ont suivi font un appel implicite lorsqu'ils déterminent le centre de gravité d'un corps ; cet appel est fait par l'intermédiaire de la loi du levier (2), origine de la notion de moment. Mais parfois, lorsqu'ils n'étaient point mis en garde contre l'inexactitude du raisonnement par la fausseté du résultat, il arrivait aux géomètres d'argumenter

(1) Guidi Ubaldi e Marchionibus Montis *In duos Archimedis æquiponderantium libros paraphrasis, scholiis illustrata*. Pisauri, apud Hieronymum Concordiam, MDLXXXVIII, p. 9.

(2) Cf. Pappus, *loc. cit.*, p. 1043.

comme si les deux parties équilibres séparées dans un corps par un plan issu du centre de gravité étaient non point d'*égal moment*, mais d'*égal poids*. Ainsi Pappus conclut (1) que le centre de gravité d'un triangle est sur la médiane simplement de ce fait que la médiane donne deux triangles partiels qui ont des aires égales.

La seconde remarque est, pour l'étude que nous allons poursuivre en ce Chapitre, de grande importance.

Nous savons aujourd'hui que la loi du levier, telle qu'Archimède l'a formulée, nous savons que les règles tracées par les géomètres pour obtenir le centre de gravité des divers corps, que l'existence même, au sein d'un corps solide, d'un point fixe qui mérite le nom de centre de gravité sont autant de conséquences de cette hypothèse : La gravité a, en tous les points du corps, la même grandeur et la même direction.

Il est très certain que les géomètres n'ont eu que très tard une vue claire des conditions précises auxquelles sont assujetties l'exactitude de la loi du levier et la notion même de centre de gravité.

Assurément, tout ce qu'a écrit Archimède en son traité *Sur l'équilibre des plans* s'accorde avec l'hypothèse d'une pesanteur partout constante en grandeur et en direction ; nulle part, cependant, le grand géomètre ne signale que cette restriction soit essentielle à l'exactitude des propositions qu'il énonce. Il est même permis de douter qu'il ait conçu sur ce point une opinion précise.

Ce doute se fortifie lorsqu'on lit ses livres *Sur les corps flottants*. Au premier de ces deux livres, nous le voyons sans cesse mentionner et figurer la convergence des verticales au centre de la Terre, alors que les lois qu'il veut démontrer ne sont point exactes lorsque la pesanteur n'est pas constante en grandeur et en direction. L'illustre Syracusain donne ainsi, du principe qui a gardé son nom,

(1) Pappus, *loc. cit.*, p. 1035.

un énoncé trop général et entaché d'une grave erreur (1). Mais au second livre, lorsqu'il veut appliquer ce principe, il traite les verticales comme des parallèles ; alors disparaissent les conséquences erronées de sa première analyse.

Rien ne prouve que Pappus ait eu, des conditions dans lesquelles il est permis de parler du centre de gravité d'un corps, la connaissance claire et assurée qui semble avoir été refusée à Archimède. Comme son illustre prédécesseur, il semble n'avoir point attaché d'importance à cette question. Il désigne les verticales comme des lignes qui convergent vers le centre de l'Univers, « εἰς τὸ τοῦ παντὸς κέντρον » et, aussitôt après, il les traite comme parallèles.

3. *La tendance du centre de gravité vers le centre de l'Univers*
Albert de Saxe (XIVe siècle)

Si la notion de centre de gravité garde, même dans l'esprit des géomètres, des contours vagues et imprécis, on devine à quel point elle sera indécise et flottante en l'intelligence des physiciens et des philosophes.

Peu à peu, on voit s'ébaucher d'abord, se préciser ensuite une doctrine qui nous paraît aujourd'hui bien étrange, mais qui fut admise sans conteste pendant des siècles et par de très grands esprits, qui fut une des théories les plus durables, les moins controversées qu'offre l'histoire de la Physique.

Cette doctrine peut se formuler ainsi :

Il est en tout grave un point où sa pesanteur est comme concentrée : c'est le *centre de gravité* ; en tout grave, la pesanteur est un désir d'unir ce centre de gravité au centre de l'Univers. Si son centre de gravité coïncide

(1) P. Duhem, *Archimède a-t-il connu le paradoxe hydrostatique ?* (BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3e Folge, Bd. I., p. 15 ; 1900).
(2) Pappus, *loc. cit.*, p. 1030.

avec le centre de l'Univers, le grave est en repos. Si le centre de gravité est hors du centre de l'Univers, le premier point tend à joindre le second et, s'il n'en est empêché, il se dirige vers lui en ligne droite. La Terre est un grave semblable aux autres ; elle joint donc son centre de gravité au centre de l'Univers ; et c'est ainsi que la Terre demeure immobile au centre du Monde.

Pour trouver le premier germe de cette théorie, il faut remonter jusqu'à Aristote. Ce germe se montre, encore bien chétif et bien indistinct, en un chapitre du Περὶ οὐρανοῦ (1). « On se demandera, dit Aristote, puisque le centre de l'Univers et le centre de la Terre coïncident, vers lequel de ces deux centres se portent naturellement tous les graves, et les parties mêmes de la Terre ? Se portent-ils vers ce point parce qu'il est le centre de l'Univers ou parce qu'il est le centre de la Terre ? C'est vers le centre de l'Univers qu'ils se portent nécessairement... Mais il arrive que la Terre a même centre que l'Univers. Dès lors, les graves se portent au centre de la Terre, mais cela par accident, et parce que la Terre a son centre au centre de l'Univers... C'est pourquoi ils se portent au centre commun de la Terre et de l'Univers... »

« Voici un autre doute qui peut se résoudre de la même manière. Supposons que la Terre soit sphérique et qu'elle occupe le centre du Monde, puis que l'on ajoute un grand poids à l'un de ses hémisphères ; le centre de l'Univers et celui de la Terre ne coïncideront plus. Qu'arrivera-t-il alors ? Ou bien la Terre ne demeurera pas immobile au milieu de l'Univers, ou bien elle demeurera immobile bien qu'elle ne tienne pas ce milieu et, par conséquent, qu'elle soit apte à se mouvoir. Voilà la question douteuse. Mais ce doute se résoudra sans peine pour peu que nous analysions le jugement que nous formons lorsqu'un certain volume pesant se porte au centre. *Il est clair que le mou-*

(1) Aristote, Περὶ οὐρανοῦ, B, ιδ, Livre II, Chapitre XIV. Édition Didot, t. II, pp. 407-409.

vement de ce grave ne s'arrêtera pas au moment même où son extrémité inférieure touchera le centre de l'Univers ; sa partie la plus pesante l'emportera tant que son milieu ne coïncidera pas avec le milieu de l'Univers ; car, jusqu'à cet instant, il aura puissance pour se mouvoir. — Δῆλον γὰρ ὡς οὐχὶ μέχρι τοῦ ἅψασθαι τοῦ κέντρου τὸ ἔσχατον, ἀλλὰ δεῖ κρατεῖν τὸ πλέον ἕως ἂν λάβῃ τῷ αὐτοῦ μέσῳ τὸ μέσον· μέχρι τούτου γὰρ ἔχει τὴν ῥοπήν. Or on peut en dire autant soit d'une particule terrestre quelconque, soit de la Terre entière. Car ce que nous venons de dire n'arrive point à cause de la grandeur ni de la petitesse ; cela est commun à tout ce qui a tendance à se mouvoir vers le centre. Que la Terre donc, à partir d'un lieu quelconque, se porte au centre soit en bloc, soit par fragments, elle se mouvra nécessairement jusqu'à ce qu'elle environne le centre d'une manière uniforme, les tendances au mouvement des diverses parties se contrebalançant alors les unes les autres. »

La doctrine d'Aristote, en ce passage, est encore fort imprécise ; ce *milieu*, τὸ μέσον, qui; en tout grave, tend à se placer au centre de l'Univers, le Philosophe ne le caractérise pas ; il ne l'identifie pas au centre de gravité, qu'il ne connaît pas.

Simplicius (1), commentant ce passage d'Aristote, fait un rapprochement, bien vague encore et bien indécis, entre ce *milieu* du grave et le *centre de gravité* ; il regarde l'objection qu'Aristote a examinée en dernier lieu comme engendrée par les recherches « que les mécaniciens nomment les *Centrobaryques* (κεντροβαρικά). Car les Centrobaryques, au sujet desquels Archimède et plusieurs autres ont énoncé des propositions nombreuses et fort élégantes, ont pour objet de trouver le centre d'une gravité donnée. Il est clair que l'Univers [la Terre, supposée sphérique] aura même centre de grandeur et de gravité. »

(1) ΣΙΜΠΛΙΚΙΟΥ εἰς τὰ Ἀριστοτέλους περὶ οὐρανοῦ ὑπόμνημα, Β, ιδ'. — Simplicii *Commentarius in IV libros Aristotelis de Cœlo*, ex recensione Sim. Karstenii. Trajecti ad Rhenum, MDCCCLXV ; p. 245.

Il ne semble pas que ce passage ait, tout d'abord, attiré bien vivement l'attention des commentateurs qui succédèrent à Simplicius. Saint Thomas d'Aquin (1), par exemple, se borne à répéter presque textuellement ce qu'a dit Aristote : « Il est clair qu'un volume doué de gravité ne se porte pas seulement vers le centre du Monde jusqu'à ce que son extrémité inférieure touche ce centre ; mais, si aucun empêchement n'y met obstacle, la partie la plus grande l'emportant sur la plus petite, le corps en mouvement se porte au centre du Monde jusqu'à ce que son milieu touche ce centre ; c'est à ce but que tous les corps graves ont inclination.

» Imaginez qu'il n'y ait au monde aucun autre corps grave qu'une pierre unique, et qu'on la jette de haut ; elle descendrait jusqu'à ce que son propre milieu touchât le milieu du Monde ; en effet, la partie la plus grande repousserait la plus petite hors de ce milieu, jusqu'à ce que la gravité se trouvât être égale de tous côtés, comme il a été dit plus haut. Et le Philosophe conclut que l'on peut, sans différence aucune, dire la même chose, soit d'une partie quelconque de la Terre, soit de toute la Terre. »

Averroës, avant Saint Thomas, avait dit (2) à peu près la même chose, mais d'une manière plus prolixe et plus confuse, et Albert le Grand avait répété des considérations (3) presque semblables à celles d'Averroës.

(1) Sancti Thomæ Aquinatis Doctoris Angelici *Opera omnia* jussu impensaque Leonis XIII. P. M., edita. Tomus XIII. Romæ MDCCCLXXXVI. *Commentaria in libros Aristotelis de Cœlo et Mundo.* In librum II lectio XVII, p. 124.

(2) Aristotelis *De Cœlo, de generatione et corruptione, meteorologicorum, de plantis*, Averrois Cordubensis *cum variis in eosdem commentariis*..... Venetiis, apud Iuntas, MDLXXIIII. — De Cœlo lib. II ; Summa quarta : De Terra ; Cap. 6 : Terræ locum causamque quietis ejus exponit. p. 165.

(3) Beati Alberti Magni, Ratisbonensis Episcopi, ordinis Prædicatorum, *Physicorum lib. VIII, De Cœlo et Mundo lib. IV, De generatione et corruptione lib. II, De meteoris lib. IV, De mineralibus lib. V*, recogniti per R. A. P. F. Petrum Iammy, sacræ theologiæ doctoris, conventus Gratianopolitani, ejusdem ordinis, nunc primum in lucem prodeunt. Operum tomus secundus. Lugduni, sumptibus Claudii Prost, Petri et Claudii Rigaud

Ce qui a été une simple remarque dans l'ouvrage d'Aristote, dans les commentaires de Simplicius et de saint Thomas d'Aquin va prendre, au XIVe siècle, les vastes proportions d'une théorie. Déjà Gautier Burley (1275-1357) développe plus largement les remarques d'Aristote (1). Le *lieu naturel* de la terre n'est pas la surface interne de l'élément de l'eau ; « la terre n'est en son lieu naturel que lorsqu'elle a pour centre le centre même du Monde ». De même, « l'eau n'est en son lieu naturel que si sa sphère a pour centre le centre du Monde, qui est le même que celui de la terre » ; et l'on peut en dire autant des autres éléments : « Aucun élément n'est en son lieu naturel si son centre n'est au centre du Monde ». « Une portion de la terre, libre de tout obstacle, se meut vers le centre du Monde et non vers la surface interne de l'eau. » Une difficulté, il est vrai, se présente « Lorsque la terre a pour centre le centre du monde, chacune de ses parties se trouve violentée, car, libre de tout entrave, elle se mouvrait naturellement vers le centre. » « De même si la terre était percée de part en part d'un trou passant par le centre, une motte de terre, jetée dans ce trou, se mouvra jusqu'à ce que son milieu vienne au milieu du Monde ; une moitié de cette masse sera alors d'un côté du centre du Monde et l'autre moitié de l'autre côté ; mais cela ne peut se faire qu'une partie de cette motte de terre ne s'éloigne du centre de l'Univers pour se rapprocher du Ciel ; or ce dernier mouvement est un mouvement vers le haut, donc un mouvement violent, ce qui est impos-

frat., Hieronymi De la Garde, Joan. Ant. Duguetan filii, via mercatoria, MDCLI. De Cœlo et Mundo, lib. II ; Tractatus IV : De motu et quiete Terræ ; Cap. X, p. 144.

(1) Burleus *Super octo libros Physicorum*. Colophon : Et in hoc finitur expositio excellentissimi philosophi Gualterii de Burley Anglici in libros octo de physico auditu Aristotelis Stagerite *(sic)* emendata diligentissime. Impressa arte et diligentia Boneti Locatelli Bergomensis, sumptibus vero et expensis nobilis viri Octaviani Scoti Modoctiensis.. Venetiis, anno salutis 1491, quarto nonas decembris. Fol. 95.

sible ». A cela, Burley répond « qu'une partie de la terre, détachée de son tout, est violentée lorsque son milieu n'est pas le centre du Monde car, délivrée de tout obstacle, elle se mouvrait vers le centre du Monde ; mais lorsqu'elle est unie au reste de la terre elle peut, sans être violentée, reposer hors du centre du Monde, car elle est en repos non par elle même, mais en vertu du repos de l'ensemble. »

Si les éléments avaient tous la forme de sphères ayant pour centre le centre de l'Univers — c'est ainsi, selon Burley, qu'ils se trouveraient en leur lieu naturel — la terre serait entièrement couverte d'eau ; comment expliquer qu'il n'en soit pas ainsi ? Jean Duns Scot, le *Docteur Subtil* (1275 ?-1308) s'était posé la question ; mais il s'était contenté (1) d'une explication finaliste : « Si tous les éléments était symétriquement distribués, la terre entière serait couverte d'eau ; en fait, actuellement, une partie de la terre est découverte en vue du salut des êtres vivants. »

Jean de Jandun, maître en theologie en 1316, suivait, en bien des points, les opinions de Gautier Burley ; comme lui et comme Aristote, il pense (2) « que la terre se meut de toutes parts vers le centre de l'Univers et que son mouvement ne s'arrête que lorsque son milieu est au milieu du Monde ». Il semble admettre, de l'existence des continents, l'explication finaliste dont c'est contenté Duns

(1) Jo. Duns Scoti Doctor. Subtilis, *in VIII lib. Physicorum Aristotelis Quæstiones et Expositio*, in celeberrima et pervetusta Parisiensium Academia ab ipso authore publice ex cathedra perlectæ, nunc primum ex antiquissimo manuscripto exemplari, abstersis omnibus mendis, in lucem editæ, et accuratis annotationibus illustratæ a R. Adm. P. F. Francisco de Pitigianis Arretino, ord. Minorum..... Venetiis, MDCXVII, apud Joannem Guerilium. p. 382 — Les *Quæstionnes* attribuées dans ce livre à Duns Scot ne sont nullement de lui ; elles ont été composées, à la fin du XIVe siècle, par Marsile d'Inghen ; nous aurons à les étudier au § 5.

(2) Joannis de Janduno *In libros Aristotelis de Cœlo et Mundo quæstiones subtilissimæ, quibus nuper consulto adjecimus Averrois sermonem de substantia orbis cum ejusdem* Joannis *commentario ac quæstionibus*... Venetiis, apud Hieronymum Scotum, 1552 ; p. 31, Quæst. XIV : An terra sit in medio mundi ?

Scot ; mais à ce sujet, il examine une difficulté : « Il est certain que l'eau est pesante ; d'autre part, une portion de la terre n'est point couverte d'eau, savoir celle qu'habitent les animaux ; il semble, dès lors, que le milieu de la terre ne puisse être le milieu du Monde, car de ce côté où l'eau, qui est lourde, recouvre la terre, elle doit la pousser et la chasser hors de son lieu, vers le côté qui est découvert, car un corps grave comme l'eau se meut vers le bas lorsqu'il n'en est pas empêché... Il est vrai que l'eau est pesante même en son propre lieu ; mais la gravité de l'eau n'est pas assez grande pour chasser la terre du centre, car la gravité de la terre, qui est plus forte, lui résistera. Le raisonnement serait concluant si l'eau était aussi lourde que la terre. »

Les indications, encore bien vagues et bien peu cohérentes, de Gautier Burley et de Jean de Jandun vont s'organiser et se développer en une ample et puissante théorie ; cette théorie sera l'œuvre d'Albert de Saxe.

Albertus de Saxonia que, bien souvent, les scolastiques se contentent de désigner par son surnom : Saxonia, est assurément un des penseurs les plus puissants et les plus originaux que l'École ait produits. Malheureusement, tandis que ses écrits nous sont connus par de très nombreuses éditions, sa vie nous est presque inconnue.

Sa patrie, la Saxe, nous est indiquée par son surnom. Nous savons également, d'une manière certaine, qu'il séjourna et enseigna à Paris. Un manuscrit de la Bibliothèque du Vatican, le *Codex palatinus* n° 1207, contient cette mention (1) : « Explicit tractatus de proportionibus Parisius per Magistrum Albertum de Saxonia editus. Deo laus. » C'est à Paris, assurément, qu'Albert a composé ses *Questions* sur la *Physique* d'Aristote ; voulant, quelque part (2),

(1) B. Boncompagni, *Intorno al* TRACTATUS PROPORTIONUM *di Alberto di Sassonia* (BULLETINO DI BIBLIOGRAFIA E DI STORIA DELLE SCIENZE MATEMATICHE E FISICHE, t. IV, p. 498 ; 1871).

(2) *Acutissimæ Quæstiones super libros de physica Auscultatione ab* Alberto de Saxonia *editæ.* In quartum Physicorum quæstio V.

prendre l'exemple d'une pierre qui tombe au sein de l'eau, il suppose que l'on jette cette pierre *dans la Seine*.

A ces renseignements certains, nous pouvons joindre une date : la Bibliothèque Nationale possède (1) en manuscrit la copie des *Questions* sur le *De Cœlo* composées par Albert de Saxe, et cette copie est datée de l'année 1378.

Or l'histoire de l'Université de Paris (2) mentionne un Albert de Saxe auquel ces diverses marques conviennent très exactement. Il a enseigné avec éclat la philosophie, en la dite Université, de 1350 à 1361. Les *Registres de la Nation Anglaise* de la Faculté des Arts de l'Université de Paris (3) mentionnent qu'il présida des examens en 1352, 1354, 1355, 1358, 1359. L'*Historia* de Du Boulay affirme qu'il fut à plusieurs reprises Procureur de la Nation Anglaise. Selon le même ouvrage, Albert de Saxe fut, en juin 1358, élu Recteur de l'Académie ; en 1361, l'Université lui confia la cure de la paroisse SS. Côme et Damien.

Telles sont les particularités non douteuses de la vie de l'auteur qui nous occupe. J. T. Græsse (4), J. C. Adlung (5) et U. Chevalier (6) l'identifient avec Albert de Rückmersdorff, Recteur de l'Université de Vienne en 1365 et Évêque d'Halberstadt de 1366 jusqu'à 1390, date de sa mort. Mais cette identification n'est rien moins que certaine.

Bien des points, d'ailleurs, demeurent obscurs en la vie d'Albert de Saxe. Nous ignorons, par exemple, s'il fut séculier ou régulier ; parmi les éditeurs de ses œuvres, il

(1) Bibliothèque Nationale, fonds latin, Ms. n° 14723. — Cf. Thurot, *Recherches historiques sur le Principe d'Archimède*, 3e Article (REVUE ARCHÉOLOGIQUE, nouvelle série, t. XIX, p. 119 ; 1869).

(2) Bulæus (Du Boulay), *Historia Universitatis Parisiensis*, MDCLXVIII, t. IV, pp. 561 et 958.

(3) Cf. Thurot, *Analyse d'un ouvrage de Ueberweg* (REVUE CRITIQUE D'HISTOIRE ET DE LITTÉRATURE, t. VI, p. 251 ; 1868).

(4) J. T. Græsse, *Lehrbuch einer Litterargeschichte der berühmsten Völker des Mittelalters*, 2te Abth., 2te Hälfte, p. 656.

(5) J. C. Adlung, *Fortsetzung und Ergänzungen zu C. G. Jöchers allgemeinen Gelehrten Lexico*, Bd. I., col. 450-456.

(6) U. Chevalier, *Répertoire des sources historiques du moyen âge. Bio-bibliographie*, Paris, 1883. Colonne 59.

en est qui le disent Augustin, d'autres Dominicain, d'autres encore Franciscain ; beaucoup s'abstiennent de mentionner qu'il ait appartenu à un ordre religieux.

U. Chevalier (1), se référant à Sbaralea (2), mentionne un autre Albert de Saxe, surnommé *Albertutius*, qui aurait été moine franciscain au XVe siècle. Nous croyons que cet Albertutius ne doit pas être distingué de notre Albertus de Saxonia ; voici quelques preuves à l'appui de cette opinion.

Nicolo Vernias de Chieti, natif de Vicence, enseignait la philosophie à Padoue à la fin du XVe siècle. Il y composa, en 1499, un écrit intitulé *De gravibus et levibus quæstio subtilissima*. L'éditeur qui, en 1516, publia à Venise les *Questiones super libros de physica Auscultatione* d'Albert de Saxe, y joignit ce petit écrit. L'auteur y mentionne et y réfute l'opinion d'*Albertutius* qui attribue le mouvement des projectiles non pas à l'agitation de l'air, mais à un *impetus* ; or cette opinion est bien celle qu'Albert de Saxe a soutenue, par de multiples arguments, dans ses *Questions* sur la *Physique* d'Aristote et sur le *De Cœlo* ; c'est assurément lui que Nicolo Vernias a entendu citer. D'ailleurs, il ne le nomme pas seulement *Albertutius*, mais encore *Albertus parvus*, réservant à Albert le Grand le simple nom d'*Albertus*.

Nous trouvons une indication analogue dans un recueil des commentaires sur le *De generatione et corruptione* composés par Gilles Colonna (Ægidius Romanus), Marsile d'Inghen et Albert de Saxe (3).

(1) U. Chevalier, *loc. cit.*

(2) Sbaralea, *Supplementum scriptorum Franciscanorum*, p. 723 ; 1806.

(3) Egidius cum Marsilio et Alberto *De generatione — Commentaria* fidelissimi expositoris B. Egidii Romani *in libros de generatione et corruptione Aristotelis cum textu intercluso singulis locis. — Questiones item subtilissime* ejusdem doctoris *super primo libro de generatione;* nunc quidem primum in publicum prodeuntes — *Questiones quoque* clarissimi doctoris Marsilii Inguem *in prefatos libros de generatione — Item questiones subtilissime* magistri Alberti de Saxonia *in eosdem libros de*

Dans ce recueil, Paulus de Genoçano, de l'ordre des frères de Saint Augustin, se donne, à la fin des *Questions* d'Ægidius et de Marsile, comme en ayant revu la rédaction ; il a sans doute accompli la même tache pour les *Questions* d'Albert de Saxe, en sorte que l'on doit lui attribuer la note qui se trouve au fol. 132, col. *a* ; en cette note, on fait remarquer au lecteur que les *Questions* d'*Albertucius* portent exactement sur les mêmes textes que les *Questions* de Marsile d'Inghen.

Au XVIe siècle, *Albertutius* ou *Albertucius* était si bien considéré comme un surnom de maître Albert de Saxe, qui avait enseigné en Sorbonne au milieu du XIVe siècle, que les éditeurs faisaient parfois figurer ces deux noms, accolés l'un à l'autre, dans le titre des ouvrages qu'ils publiaient ; témoin, ce titre : *Logica* Albertucii *perutilis. Logica excellentissimi sacræ theologiæ professoris Magistri* Alberti de Saxonia *ordinis divi Augustini, per Magistrum Aurelium Sanutum Venetum.* Venetiis, ære ac sollertia hæredum O. Scoti. MDXXII.

Le *Tractatus proportionum* d'Albert de Saxe, ses *Acutissimæ Quæstiones* touchant les *Physiques* d'Aristote, le *De Cœlo*, le *De generatione et corruptione* eurent grande vogue dans l'École, à la fin du moyen âge et durant la Renaissance ; l'imprimerie les répandit à profusion (1) ;

gene; nusquam alias impresse. — Omnia accuratissime revisa, atque castigata ; ac quantum ars eniti potuit fideliter impressa. Colophon : Impressum Venetiis mandato et expensis nobilis viri Luceantonii de Giunta Florentini, Anno Domini 1518, Die 12 mensis Februarii.

En dépit des indications du titre, ce recueil avait été déjà imprimé au moins deux fois : à Venise, en 1504 (B. Locatellus) et 1505 (G. de Gregoriis).

(1) Selon Boncompagni (BULLETINO DI BIBLIOGRAFIA E DI STORIA DELLE SCIENZE MATEMATICHE E FISICHE, t. IV, p. 493; 1871), le *Tractatus proportionum* a eu dix éditions. Græsse (*Trésor de livres rares et précieux*, t. I, p. 57) dit que les *Quæstiones super quatuor libros Aristotelis de Cœlo et Mundo* furent imprimées à Pavie en 1481, à Venise en 1492 et 1497, à Paris en 1516, de nouveau à Venise en 1520. — Nous avons pu consulter, outre le recueil que nous venons de citer, les trois éditions suivantes :

1° *Questiones subtilissime* Alberti de Saxonia *in libros de Celo et Mundo.* Colophon : Expliciunt questiones preclarissimi Alberti de Saxonia

l'œuvre d'Albert de Saxe est l'un des principaux canaux par lesquels la Physique de la Scolastique a répandu ses idées en la science du XVIe siècle.

Sa théorie de la pesanteur se trouve éparse en divers lieux de ses *Questions* sur la *Physique* ou sur le *De Cœlo*.

En un premier passage (1), il s'agit de soutenir l'opinion, émise par Aristote, selon laquelle les corps graves se mouvraient dans le vide avec une vitesse infinie, parce

super quatuor libros de celo et mundo Aristotelis diligentissime emendate per eximium artium et medicine doctorem Magistrum Hieronymum Surianum Venetum filium Domini Magistri Jacobi Suriani physici prestantissimi. Impresse autem Venetiis arte Boneti de Locatellis Bergomensis. Impensa vero nobilis viri Octaviani Scoti civis Modoetiensis. Anno Salutis nostre 1492, nono kalendarum novembris, ducante inclite principe Augustino Barbadico.

2° *Acutissime Questiones super libros de physica auscultatione ab* Alberto de Saxonia *edite ; jamdiu in tenebris torpentes : nuperrime vero quam diligentissime a vitiis purgate : ac summo studio emendate ; et quantum eniti ars potuit fideliter impresse.* — Nicoleti Vernialis Theatini *philosophi perspicacissimi contra perversam Averrois opinionem de unitate intellectus : et de anime felicitate Questiones divine : nuper castigatissime in lucem prodeuntes.* — Ejusdem *etiam de gravibus et levibus questio subtilissima.* — A la dernière page : Venetiis, sumptibus heredum q. D. Octaviani Scoti Modoetiensis ac Sociorum, 21 Augusti 1516.

3° *Quæstiones et decisiones physicales insignium virorum :*

Alberti de Saxonia *in*	*Octo libros physicorum.* *Tres libros de cœlo et mundo.* *Duos lib. de generatione et corruptione.*
Thimonis *in*	*Quatuor libros meteorum.*
Buridani *in Aristotelis*	*Lib. de sensu et sensato.* *Librum de memoria et reminiscentia.* *Librum de somno et vigilia.* *Lib. de longitudine et brevitate vitæ.* *Lib. de juventute et senectute.*

Recognitæ rursus et emendatæ summa accuratione et judicio Magistri Georgii Lokert Scoti *: a quo sunt tractatus proportionum additi.* Venumdantur in ædibus Jodoci Badii Ascensii et Conradi Resch. — Au verso du titre, se trouve une *Epistola nuncupatoria et parænetica* de Georges Lokert, avec ces deux dates : Ex præclaro Montisacuti collegio idibus Januarii ad supputationem Curiæ Romanæ MDXVI. Et rursus e Sorbona ad kalen. Octo. MDXVIII. — L'ouvrage eut, en effet, à Paris, deux éditions, l'une en 1516, l'autre en 1518.

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de physico Auditu ;* in librum IV quæstio X.

que les corps n'ont, par eux-mêmes, aucune résistance intrinsèque au mouvement, rien d'analogue à ce que nous nommons aujourd'hui l'inertie.

Or certains auteurs (1) pensaient « que les diverses parties d'un même grave s'entravent mutuellement, parce que chacune d'elles a une inclination à descendre par la ligne la plus courte ; et comme, seule, la partie moyenne descend par une telle ligne, elle gêne les parties latérales ; par suite de cet empêchement mutuel des diverses parties, les graves simples se meuvent dans le temps. Mais cette raison ne peut tenir.

» En premier lieu, elle prétend que chacune des parties d'un même grave tend à descendre par la ligne la plus courte ; cette raison n'est pas valable ; chacune des parties ne tend pas à ce que son centre devienne le centre du Monde, ce qui serait impossible. C'est le tout qui descend de telle sorte que son centre devienne le centre du Monde ; et toutes les parties tendent à ce but que le centre du tout devienne le centre du Monde ; elles ne s'entravent donc pas l'une l'autre... »

A cet argument, où nous trouvons une première formule de la théorie qui nous occupe, Albert en joint d'autres, parmi lesquels nous lisons ceux-ci :

Selon cette opinion, « un grand corps descendrait plus

(1) L'opinion ici réfutée par Albert de Saxe avait été émise et soutenue par Roger Bacon (*a*), qui l'avait citée comme une heureuse application des mathématiques aux sciences physiques.

(*a*) Rogerii Baconis Angli, viri eminentissimi, *Specula mathematica* in qua de specierum multiplicatione, earumdemque in inferioribus virtute agitur. Liber omnium scientiarum studiosis apprime utilis, editus opera et studio Johannis Combachii, Philosophiæ professoris in Academia Marpurgensi ordinarii. Francofurti, typis Wolffgangi Richteri, sumptibus Antonii Hummii. MDCXIV. — Distinctio IV. Caput XIV : An motus gravium et levium excludat omnem violentiam ? Et quomodo motus gignat calorem ? Itemque de duplici modo sciendi. — Cet ouvrage est un fragment, imprimé séparément, de l'*Opus majus* dédié, vers 1267, au pape Clément IV (Fratris Rogeri Bacon, ordinis Minorum, *Opus majus ad Clementem Quartum, Pontificem Romanum*, ex MS Codice Dubliniensi edidit S. Jebb, M. D. ; Londini, ex typis Gulielmi Bowyer, MDCCXXXIII ; pp. 103 et 104, marquées par erreur 99 et 100).

lentement qu'un corps plus petit, ce qui, toutes choses égales d'ailleurs, n'est point exact... Dix pierres réunies ensemble descendraient plus lentement que l'une d'entre elles, car elles s'entraveraient l'une l'autre ; or cela est faux et contraire à l'expérience. »

Lorsque Benedetti démontra (1) que tous les corps de même pesanteur spécifique tombent avec la même vitesse au sein d'un même milieu, il eut soin de faire sonner bien haut l'originalité de sa découverte : « Cette vérité, disait-il, ne procède point de l'esprit d'Aristote, ni de l'esprit d'aucun de ses commentateurs dont j'aie eu occasion de voir et de lire les ouvrages, ou dont j'aie pu converser avec ceux qui professent l'opinion de ce philosophe. » Il est permis de se demander, cependant, si le passage d'Albert de Saxe que nous venons de citer ne fut pas la semence qui germa dans la pensée de Benedetti.

Le problème du *lieu naturel* de la Terre préoccupe Albert de Saxe en divers endroits de ses *Questions* sur la *Physique* et sur le *De Cœlo*.

Selon la philosophie péripatéticienne, à tout élément correspond un lieu naturel ; en ce lieu, la forme substantielle de cet élément acquiert sa perfection ; elle est disposée de telle sorte qu'elle reçoive aussi complètement que possible les influences qui lui sont favorables, qu'elle évite les actions qui peuvent lui nuire. Un élément est-il hors de son lieu naturel : il tend à s'y placer, car toute forme tend à sa perfection. Est-il en son lieu naturel : il y demeure en repos et n'en peut être arraché que par violence.

Quels sont les lieux naturels des divers éléments ? Quel est, en particulier, le lieu naturel de la terre ? La question était vivement débattue dans l'École.

Pour les uns, le lieu naturel de la terre était la surface concave qui limite inférieurement la mer, lieu naturel de

(1) Voir Chapitre X, 2.

l'eau ; ou mieux, cette surface jointe à une partie de la surface inférieure de l'atmosphère, lieu naturel de l'air ; et ceux-là se montraient fidèles interprétateurs de la pensée du Stagirite, selon laquelle le *lieu* d'un corps est la surface interne des corps qui l'environnent.

D'autres rejetaient cette opinion. La surface interne de l'eau n'est pas le lieu naturel de la terre ; car alors une portion de terre entourée d'eau de tous côtés demeurerait en équilibre. Or, si l'on jette une pierre dans un fleuve, bien loin de demeurer en repos, elle descend jusqu'à ce qu'elle parvienne au fond de l'eau. Une portion de terre, libre de tout obstacle, ne saurait demeurer en équilibre tant qu'elle n'est pas au centre de l'Univers ; c'est donc le centre de l'Univers qui constitue le lieu naturel de la terre. A quoi les tenants de la première opinion répondaient que la terre, n'étant pas un simple point, ne pouvait être naturellement logée en un point, ce point fût-il le centre du Monde.

C'est surtout à la solution de ce débat qu'Albert de Saxe applique sa théorie de la gravité. Voici comment il formule la thèse où il cherche à conserver la part de vérité que renfermait chacune des opinions adverses :

« La terre, (1) limitée en partie par la surface concave de l'air, en partie par la surface concave de l'eau, occupe sa situation naturelle lorsque le centre de gravité de la dite terre est au centre du Monde ; car si la terre se trouvait hors de la surface qui la situe de la sorte, elle se mettrait à descendre et se mouvrait jusqu'à ce que le centre de l'agrégat qu'elle forme avec tous les autres graves devînt le centre du Monde, à moins qu'elle n'en fût empêchée...

» A quoi j'ajouterai quelques remarques : En premier lieu, si la masse entière de la terre se trouvait placée hors de son lieu naturel, par exemple en la concavité de

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de physico Auditu ;* in librum IV quæstio V.

l'orbite de la Lune, et qu'elle y fût retenue de force ; que, d'autre part, on laissât tomber un grave ; ce grave ne se mouvrait point vers la masse totale de la terre, mais il se mouvrait en ligne droite vers le centre du Monde ; la raison en est qu'une fois parvenu au centre du Monde, il serait en son lieu naturel, pourvu du moins que son centre de gravité fût le centre du Monde ; or, tout être qui n'en est pas empêché tend naturellement à se placer en son lieu naturel, car il s'y conserve plus longtemps et s'y trouve plus éloigné de ce qui lui est nuisible. Il résulte de là que si les graves se meuvent vers la Terre, ce n'est point à cause de la Terre ; c'est parce qu'en venant à la Terre, ils s'approchent du centre du Monde.

» Mais ici (1), il convient de poser deux distinctions, dont voici la première : Il y a deux points qui peuvent être nommés milieux ou centres des corps graves, savoir : le centre de grandeur (2) et le centre de gravité. Car dans les corps où la gravité n'est pas uniformément répartie, le centre de gravité n'est pas le centre de grandeur ; tandis que dans les corps de gravité uniforme, le centre de grandeur et le centre de gravité peuvent bien coïncider.

» La seconde distinction est celle-ci : Dire qu'un corps est au milieu du Monde peut s'entendre de deux manières différentes ; d'une première manière, on entend que son centre de grandeur est au centre du Monde ; d'une seconde manière, que son centre de gravité est au centre du Monde.

» Or je suppose que la terre n'est pas d'une gravité uniforme » ; cela est évident, car la partie que la mer ne couvre pas, exposée aux rayons du Soleil, est plus dilatée que la partie que les eaux recouvrent.

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros De Cœlo et Mundo* ; in librum II quæstio XXIII.

(2) *Grandeur* a, en général, chez les scolastiques, le sens que les géomètres modernes donnent au mot *volume* ; par *centre de grandeur*, Albert de Saxe entend sans doute, au moins confusément, ce que nous entendons aujourd'hui par *centre de gravité du volume*.

D'ailleurs, si son centre de grandeur coïncidait avec son centre de gravité et partant avec le centre du Monde, elle serait entièrement couverte par les eaux.

« Dès lors, on peut poser cette première conclusion : Ce n'est point le centre de grandeur de la terre qui est au centre du Monde... Puis cette seconde conclusion : C'est le centre de gravité de la terre qui est au centre du Monde ; on le prouve : Toutes les parties de la terre tendent au centre par leur gravité. » Si donc un plan quelconque passant par le centre du Monde ne partageait pas la terre en deux parties d'égale gravité, « la partie la plus lourde pousserait la plus légère jusqu'à ce que le centre de gravité de la terre tout entière devînt le centre du Monde ; alors, ces deux parties de même poids demeureraient immobiles, lors même que l'une surpasserait l'autre en grandeur ; elles se contrebalanceraient l'une l'autre comme deux poids en équilibre. »

De là un paradoxe (1) : Lorsque la terre se trouve en son lieu naturel, les diverses parties de la terre se trouvent violentées et hors de leur lieu naturel ; en effet, chacune de ces parties serait naturellement située si son centre de gravité se trouvait au centre du Monde ; et c'est le centre de gravité de la terre qui occupe cette position.

Albert de Saxe résout évidemment ce paradoxe, comme le résolvait déjà Gautier Burley (2), par les raisons qui lui ont servi à prouver que les diverses parties d'un grave ne se gênaient pas l'une l'autre dans leur mouvement ; ce n'est point chaque partie de la terre qui tend à mettre son centre de gravité au centre du Monde ; cette tendance n'appartient qu'à la terre en son entier ; ou mieux, chaque partie tend à ce que l'ensemble ait son centre de gravité au centre du Monde :

(1) Albertus de Saxonia, *loc. cit.*
(2) Burleus, *Super octo libros Physicorum*, Venetiis, 1491 ; fol. 93, col. d.

« L'eau, dit-il (1), ne forme pas le lieu naturel de la terre tant que le centre de gravité de la terre n'est pas le centre du Monde. Il ne suffit pas qu'une portion de terre se trouve entourée d'eau pour qu'elle soit en son lieu naturel et demeure immobile ; car alors son centre de gravité n'est point encore le milieu du Monde, et le centre de gravité de l'agrégat total qu'elle forme avec le reste de la terre n'est point non plus au centre du Monde ; elle continue donc à descendre, et cela jusqu'à ce que le centre de gravité de tout l'agrégat formé par cette portion de la terre et tout le reste de la terre se trouve au centre du Monde. »

De ce principe que le centre de gravité de l'ensemble des corps pesants tend constamment à se placer au centre du Monde, il résulte que la Terre n'a pas nécessairement cette immobilité absolue que d'aucuns lui prêtent. Une foule de causes, telles que l'échauffement par les rayons du Soleil, font, en effet, varier continuellement la distribution de la gravité en la masse terrestre et déplacent son centre de gravité (2).

« En fait, dit Albert (3), la Terre se meut sans cesse ; sans cesse, en effet, il est une partie de la terre dont la gravité est diminuée plus qu'elle ne l'est en la partie opposée ; c'est la partie qui regarde le Soleil ; or, par suite du mouvement circulaire du Soleil au-dessus de la Terre, cette partie change d'instant en instant ; afin donc que le centre de gravité de la terre demeure au centre du Monde, et puisque la partie de la terre qui s'allège change continuellement, il faut que la Terre se meuve sans cesse. »

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de physico Auditu* ; in librum IV quæstio V.

(2) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de physico Auditu* ; in librum IV quæstio V. — *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo* ; in librum II quæstio X.

(3) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo* ; in librum II quæstio X.

La cause invoquée ici par Albert de Saxe pour expliquer les déplacements du centre de gravité terrestre est de bien minime influence ; en un autre passage (1), il invoque une action autrement lente, mais autrement importante : l'érosion par les eaux pluviales ; et plus d'un géologue ne verra point sans surprise la précision avec laquelle il marque le rôle joué par l'érosion dans la sculpture du sol :

« Il est bien vraisemblable que, continuellement, quelque partie de la Terre se meut en ligne droite ; on peut s'en persuader par les raisons suivantes : Continuellement, de cette partie de la terre élémentaire que la mer ne couvre pas, une multitude de parties terrestres, entraînées par les fleuves, s'écoulent jusqu'au fond de la mer ; la terre s'accroît ainsi dans la partie qui est couverte par les eaux, tandis qu'elle diminue dans la partie découverte et, par conséquent, elle ne garde pas le même centre de gravité ; mais, après ce changement de centre de gravité, le nouveau centre de gravité se meut, afin de se placer au centre du Monde ; et, pendant ce temps, l'ancien centre de gravité monte vers la surface que ne couvrent pas les eaux ; par cet écoulement et ce mouvement continuels, cette partie de la Terre qui, à une certaine époque, se trouvait au centre finira par venir à la surface, et inversement.

» Et, à ce sujet, on peut montrer comment ont été engendrées les grandes montagnes. Il n'est point douteux que certaines parties de la terre n'aient plus de cohésion que d'autres ; tandis que les parties faiblement cohérentes coulent à la mer, entraînées par les fleuves, les parties douées de cohésion demeurent en place ; elles forment éminence au-dessus de la surface du sol. »

Jusqu'ici, Albert de Saxe nous a parlé seulement du lieu naturel de la terre ; il a fait abstraction de la masse

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo;* in lib. II quæstio XXIII.

des eaux ; de quelle manière faut-il tenir compte de la présence de cette masse ? Sur ce point, la pensée d'Albert a varié ; elle n'est pas la même dans les *Questions* sur les livres de *Physique* et dans les *Questions* sur le *De Cœlo*.

En commentant la *Physique* d'Aristote, Saxonia avait écrit ces lignes (1) :

« [Ce que j'ai dit de la terre seule], il faut l'entendre également de tout l'agrégat formé par la terre et l'eau ; ces deux éléments forment sans doute une gravité totale et unique, dont le centre de gravité se trouve au centre du Monde. »

Ainsi, dans ses *Questions* sur la *Physique* d'Aristote, Albert de Saxe enseigne que le centre du Monde coïncide avec le centre de gravité de l'ensemble des corps pesants ; il coïncide aussi (2) avec le *centre de légèreté* de l'ensemble des corps légers.

« Le froid étant particulièrement intense sous les pôles, la couche de l'élément igné y serait bien plus mince qu'à l'équateur, si le feu, continuellement engendré à l'équateur, ne s'écoulait constamment vers les pôles. De même que l'eau s'écoule constamment vers les lieux les plus bas, afin que le centre de toute gravité se trouve au centre du Monde, de même nous devons admettre que le feu s'écoule sans cesse de l'équateur vers les pôles, afin que son centre de légèreté soit au centre du Monde. Il faut concevoir que, sous les pôles, le feu se transforme constamment en air, tandis qu'à l'équateur, l'air se transforme continuellement en feu ; et, sans cesse, le feu coule de l'équateur vers les pôles, afin que le centre de toute légèreté se trouve au centre du Monde, comme le centre de toute gravité. »

Donc, selon l'opinion qu'Albert expose dans ses *Questions* sur la *Physique*, au centre du Monde se trouve le

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de physico Auditu* ; in librum IV quæstio V.

(2) Id., *ibid.*, quæstio VI.

centre commun des graves, aussi bien de la terre ferme que de l'eau, et le centre commun des corps légers, aussi bien de l'air que du feu.

Cette opinion, Albert de Saxe la repousse (1), comme la repoussait déjà Jean de Jandun, lorsqu'il commente le *De Cœlo :*

« On m'objectera qu'il ne semble pas que le centre de gravité de la terre seule soit au centre du Monde ; que cette position convient bien plutôt au centre de gravité de l'agrégat formé par la terre et l'eau. La terre, en effet, est d'un côté toute couverte d'eau ; cette eau se joint à la partie de la terre qu'elle recouvre pour peser à l'encontre de l'autre partie ; elle doit donc repousser celle-ci jusqu'à ce que le centre de tout l'agrégat formé par la terre et par l'eau se trouve au centre du Monde.

« Nous répondrons en niant que le centre du Monde coïncide avec le centre de gravité de l'agrégat total formé par la terre et l'eau. En effet, si l'on imaginait que toute l'eau fût enlevée, le centre de gravité de la terre serait encore au centre du Monde ;... car, par essence, la terre est plus grave que l'eau ;... quelle que soit donc la quantité d'eau qui se trouve placée d'un côté de la terre et non de l'autre, cette partie de la terre n'en recevrait point, pour contrepeser et repousser l'autre partie, plus d'aide que par le passé... »

On s'explique (2) sans peine « qu'une partie de la terre émerge des eaux ; la terre, en effet, n'est pas uniformément grave, en sorte que son centre de gravité se trouve fort au-dessus de son centre de grandeur ; il est beaucoup plus près de l'une des calottes convexes qui limitent la terre que de l'autre ; alors l'eau, qui est uniformément grave et qui tend au centre du Monde, coule vers la

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo ;* in librum II quæstio XXV.

(2) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de physico auditu ;* in librum IV quæstio V.

calotte terrestre qui est la plus voisine du centre de gravité de la terre, de sorte que l'autre partie, l'autre calotte, celle qui est la plus éloignée du centre de gravité, demeure découverte ». La théorie de la gravité se reliait ainsi, pour Albert de Saxe, aux notions géographiques qui avaient cours de son temps ; elle servait à justifier l'hypothèse d'un hémisphère terrestre couvert par un vaste océan, hypothèse que devait ruiner la découverte de Christophe Colomb.

L'opinion d'Albert de Saxe, selon laquelle les eaux de la mer n'exercent aucune pesanteur, aucune pression sur le fond de la mer, nous peut sembler aujourd'hui fort étrange ; elle n'est cependant pas émise au hasard ; Albert la tire de ses principes généraux touchant la pression au sein des fluides. Ces principes, dont Thurot a marqué (1) l'influence profonde et durable, avaient pour objet de répondre à cette question : Un corps demeure-t-il pesant lorsqu'il se trouve en son lieu naturel ?

Le désir d'unir son centre de gravité au centre du Monde, un corps pesant le conserve toujours identique à lui-même ; lorsque le grave se trouve placé en son lieu naturel, cette tendance existe à l'état *potentiel* ou *habituel* ; elle consiste alors, pour ce grave, en un désir de demeurer où il est (2). Veut-on l'arracher de ce lieu : la pesanteur potentielle passe aussitôt à l'état *actuel* et se manifeste sous forme de résistance. Le grave est-il placé hors de son lieu : la pesanteur actuelle le met en mouvement si aucun obstacle ne s'y oppose ; « si quelque support l'arrête et le retient hors de son lieu, la pesanteur demeure encore à l'état actuel ; il est vrai qu'elle ne communique plus un mouvement actuel au corps pesant, mais elle produit un effort actuel pour comprimer ce qui retient ce corps par violence ».

(1) Thurot, *Recherches historiques sur le Principe d'Archimède*, 3e article (REVUE ARCHÉOLOGIQUE, nouvelle série, t. XIX, p. 119 ; 1869).

(2) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cælo et Mundo* ; in librum III quæstio III. — Cf. *ibid.*, in librum I quæstio X.

Lorsque les diverses parties d'un grave, solide ou fluide, sont en leur lieu naturel, lorsque, par conséquent, leur pesanteur se trouve à l'état habituel et non à l'état actuel, elles ne pressent pas, elles ne compriment pas les parties sous-jacentes.

C'est ce qu'Albert objecte (1) à ceux qui soutiennent cette opinion : « Les parties inférieures de la terre sont plus massives que les parties supérieures ; ce qui ne paraît pas avoir d'autre cause que la compression exercée par les parties supérieures, compression qui provient de leur gravité. A quoi je réponds, dit Albert, que si les parties centrales de la terre sont plus denses, ce n'est point qu'elles soient comprimées par les parties supérieures, car les parties supérieures ne pèsent point sur elles... »

Ce qui est vrai des parties de la terre peut s'entendre aussi des parties de l'eau : « Lorsque (2) les parties d'un grave ne se meuvent point à l'encontre les unes des autres, elles ne se gênent point mutuellement ; cette proposition est rendue évidente par l'exemple de l'eau, dont les parties supérieures ne compriment pas les parties inférieures... »

Ainsi le fond des mers ne supporte aucune charge, aucune pression de la part de l'eau qui le surmonte.

En toutes circonstances, qu'elle soit habituelle ou qu'elle soit actuelle, la puissance de la pesanteur garde, en un même grave, même grandeur. « Une portion de terre (3) incline tout aussi bien à son lieu naturel, qu'elle se trouve placée plus haut ou plus bas. »

Cette invariabilité de la gravité ne pouvait s'accorder sans autre explication avec l'axiome fondamental sur lequel reposait toute la Statique de Jordanus : *Gravius*

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo;* in librum III quæstio III.

(2) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de physico Auditu;* in librum IV quæstio X.

(3) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo;* in librum I quæstio X.

esse in descendendo quando ejusdem motus ad medium rectior. Déjà, dans le préambule que Peter Apian a reproduit (1), le péripatéticien qui, au XIIIe siècle, commenta cette doctrine avait expliqué que cette apparente variation de gravité était due au mélange d'une certaine violence. Avec plus de force, Albert de Saxe va marquer (2) le sens précis qu'il convient d'attribuer à l'axiome de Jordanus:

« Nous devons déclarer qu'un grave ne désire pas plus descendre par une ligne que par une autre ; s'il descend par telle ligne et non par telle autre, cela tient à ce qu'il est appliqué à telle ou telle résistance...

» Mais, dira-t-on, il semble bien qu'un grave désire plutôt descendre par la perpendiculaire que par une oblique; nous voyons, en effet, que lorsqu'un grave descend par la perpendiculaire, il est plus difficile de l'arrêter ou d'empêcher sa descente que lorsqu'il descend par une oblique ; il parait bien que ce soit le signe d'un désir plus grand à descendre par la perpendiculaire que par la ligne oblique.

» Je réponds à cela qu'un grave, en effet, est plus difficile à arrêter lorsqu'il descend suivant la verticale que lorsqu'il descend obliquement ; mais la raison de cet effet n'est point un plus grand désir de descendre par la verticale que par l'oblique ; cet effet tient à ce que le corps pesant éprouve une moindre résistance lorsqu'il descend verticalement que lorsqu'il descend obliquement, sur un plan incliné, par exemple ; or il est moins facile d'empêcher le mouvement d'une puissance motrice donnée avec une moindre résistance qu'avec une résistance plus grande. »

(1) *Liber* Jordani Nemorarii, viri clarissimi, *de ponderibus*, propositiones XIII, et earumdem demonstrationes, multarumque rerum rationes sane pulcherrimas complectens, nunc in lucem editus. Cum gratia et privilegio imperiali, Petro Apiano mathematico Ingolstadiano ad XXX annos concesso. MDXXXIII. Sixième et septième pages (titre compris) de l'ouvrage, imprimé sans pagination.

(2) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libro de Cœlo et Mundo*; in librum III quæstio XI.

S'il faut donc un moindre effort pour empêcher un corps pesant de glisser sur un plan incliné que pour retenir sa chute libre, c'est qu'à cet effort se joint la résistance du plan incliné ; la résistance des appuis, telle est la véritable raison des effets que l'École de Jordanus attribuait à la variation de la gravité *secundum situm*.

Il est piquant de remarquer que les arguments par lesquels Guido Ubaldo (1) combattra cette notion de gravité *secundum situm* sont le simple développement des raisons que vient d'exposer Albert de Saxe ; nous trouverons, d'ailleurs, d'autres marques de l'influence exercée sur le Marquis del Monte par notre scolastique. Lors donc qu'en la seconde moitié du XVI[e] siècle, les mécaniciens suscitèrent une violente réaction contre la Statique créée, au XIII[e] siècle, par l'École de Jordanus, ils n'étaient point seulement poussés par l'admiration exclusive des monuments, récemment exhumés, de la science antique ; ils subissaient aussi l'influence des philosophes de l'École et, en particulier, d'Albert de Saxe.

4. *La théorie de la figure de la Terre et des mers d'Aristote à Albert de Saxe*

Ce que nous venons de dire des doctrines d'Albert de Saxe montre, de reste, à quel point la théorie de la pesanteur et la Statique tout entière se trouvent liées, dans ses écrits, aux suppositions sur le centre de l'Univers, le centre de la terre et le centre de la sphère des eaux. On ne s'étonnera donc pas de nous voir ouvrir ici une digression, examiner ce qu'Albertutius a enseigné touchant la sphéricité de la Terre et des mers, et les sources antiques auxquelles il avait puisé son enseignement. D'ailleurs, nous n'épuiserons pas ici le sujet, si vaste et si important,

(1) Voir Chapitre X, 1.

de cette digression ; nous n'en traiterons que ce qu'il faut connaître pour suivre le développement de la Statique.

Pour retrouver l'origine des théories qui vont nous occuper, il nous faut encore remonter jusqu'à Aristote, jusqu'à ces livres *Sur le Ciel et le Monde* qui, si longtemps, ont dirigé l'évolution scientifique de l'humanité.

Un des plus remarquables chapitres du *De Cœlo et Mundo* est assurément celui (1) où le Stagirite entreprend de prouver la sphéricité de la Terre.

Parmi ses arguments, il y a des raisons *à posteriori* qui nous donnent la rotondité de la Terre comme un fait ; telle la forme de l'ombre de la Terre dans les éclipses de Lune ; telle encore cette observation que le voyageur, s'avançant du nord au sud, voit certaines constellations s'abaisser et disparaître, tandis que d'autres, qui lui étaient tout d'abord inconnues, se lèvent devant lui. Cette observation peut même servir à déterminer les dimensions du globe terrestre, et Aristote en donne une détermination qu'il tenait peut-être d'Eudoxe (2) ; cette détermination est, à coup sûr, fort erronée ; elle n'en est pas moins la plus ancienne qui soit parvenue à notre connaissance.

L'étude de la pesanteur fournit à Aristote un nouvel argument *à posteriori* en faveur de la sphéricité de la Terre. Aristote admet que tous les graves tendent au même point, le centre du Monde ; or la trajectoire de la chute des corps pesants, la *verticale*, variable en direction d'un point à l'autre de la Terre, est toujours normale à la surface ; celle-ci a donc la forme sphérique.

La considération de la pesanteur fournit à Aristote un argument d'un autre ordre, un argument *à priori*, ce que l'on appelait de son temps une *preuve physique*, ce que

(1) ARISTOTE, Περὶ οὐρανοῦ, B, ιδ, Livre II, chapitre XIV. Édition Didot, t. II, p. 408.

(2) Cf. P. Tannery, *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie ancienne* (MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES DE BORDEAUX, 4e série, t. I, p. 110 ; 1893).

l'on appelle aujourd'hui une *preuve mécanique ;* et cette preuve lui paraît si importante qu'il la place au premier rang.

« Il faut, dit le Stagirite, que la Terre ait la forme sphérique. En effet, chacune de ses parcelles est douée de poids et tend au centre de l'Univers ; si une parcelle moins pesante est poussée par une parcelle plus pesante, elle ne saurait s'échapper ; mais, bien plutôt, elle se trouve comprimée ; l'une cède à l'autre jusqu'à ce qu'elle soit parvenue au centre même. Comprenons donc que ce qui se passe est identiquement ce qui se produirait si la Terre avait été formée comme l'imaginent certains physiciens. Seulement, ces physiciens prétendent que la Terre doit son origine à une projection violente des corps vers le bas ; à cette opinion, il nous faut opposer la doctrine véritable, et dire que cet effet se produit parce que tout ce qui a poids tend naturellement au centre. Lors donc que la Terre n'était encore une masse unique qu'en puissance, ses diverses parties, séparées les unes des autres, étaient de tous côtés, et par une tendance semblable, portées vers le centre. Soit donc que les parties de la Terre, séparées les unes des autres et venant des extrémités du Monde, se soient réunies au centre, soit que la Terre ait été formée par un autre procédé, l'effet produit sera exactement le même. Si des parties se sont portées des extrémités du Monde au centre, et cela en venant de tous côtés de la même manière, elles ont nécessairement formé une masse qui soit semblable de tous côtés ; car s'il se fait une addition de parties égale en toutes directions, la surface qui limite la masse produite devra, en tous ses points, être équidistante du centre ; une telle surface sera donc de figure sphérique. Mais l'explication de la figure de la Terre ne sera point changée si les parties qui la forment ne sont point venues en quantité égale de tous côtés. En effet, la partie la plus grande poussera nécessairement la partie plus petite qu'elle trouve devant elle,

car toutes deux ont tendance au centre, et le poids le plus puissant pousse le moindre. »

Sous une forme bien sommaire et bien vague encore, ce passage contient le germe d'une grande vérité, qui ira se développant à travers les siècles : c'est à la pesanteur que la Terre doit sa figure.

De la pesanteur de la Terre, on ne saurait conclure qu'elle soit sphérique, mais seulement qu'elle tend à l'être; grâce à leur solidité, ses diverses parties s'étayent les unes les autres et se gênent dans leurs mouvements. Il n'en est pas de même de l'eau; la fluidité de cet élément supprime tout obstacle au changement de figure ; une eau dont les diverses parties tendent au centre du Monde ne saurait être en équilibre que sa surface ne soit une sphère concentrique à l'Univers.

Aristote a fort bien reconnu cette vérité ; il a entrepris de démontrer géométriquement la sphéricité de la surface des eaux ; plus exactement, il a prouvé que si une face plane venait à interrompre cette parfaite sphéricité, cette face ne pourrait persister, tandis que la figure sphérique serait restaurée par la pesanteur. Voici en quels termes, trop concis, le *De Cœlo* nous rapporte (1) cette argumentation : « Que la surface de l'eau soit sphérique, cela est manifeste si l'on accepte cette hypothèse : La nature de l'eau est de s'écouler vers les lieux les plus bas, et ce lieu est le plus bas qui est le plus voisin du centre. En effet, du centre α (fig. 95) menons deux lignes $\alpha\beta$, $\alpha\gamma$; joignons $\beta\gamma$; sur cette ligne $\beta\gamma$, abaissons, du point α, la perpendiculaire $\alpha\delta$ et prolongeons-la jusqu'en ε ; cette ligne $\alpha\delta$ sera la plus courte que l'on puisse mener du centre à un point de la ligne $\beta\gamma$. Ce point δ sera donc le point le plus bas, en sorte que l'eau coulera de tous côtés vers ce point jusqu'à ce que sa surface soit ramenée à l'équidistance du centre. La ligne $\alpha\varepsilon$ est prise égale aux autres lignes $\alpha\beta$, $\alpha\gamma$,

(1) Aristote, Περὶ οὐρανοῦ, B, δ, Livre II, Chapitre IV. Édition Didot, t. II, p. 394.

issues du centre. Il faudra donc que l'eau prenne la même longueur de toutes ces lignes issues du centre ; alors, elle demeurera en équilibre. Mais le lieu des extrémités de lignes égales issues du centre est une circonférence. La surface de l'eau, qui est βεγ, sera donc sphérique. — Ἀλλὰ μὴν ὅτι γε ἡ τοῦ ὕδατος ἐπιφάνεια τοιαύτη, φανερὸν ὑπόθεσιν λαβοῦσιν ὅτι πέφυκεν ἀεὶ συρρεῖν τὸ ὕδωρ εἰς τὸ κοιλότερον· κοιλότερον δέ ἐστι τὸ τοῦ κέντρου ἐγγύτερον. Ἤχθωσαν οὖν ἐκ τοῦ κέντρου ἡ ΑΒ καὶ ἡ ΑΓ, καὶ ἐπεζεύχθω ἐφ' ἧς ΒΓ. Ἡ οὖν ἀχθεῖσα ἐπὶ τὴν βάσιν, ἐφ' ἧς ΑΔ, ἐλάττων ἐστὶ τῶν ἐκ τοῦ κέντρου· κοιλότερος ἄρα ὁ τόπος. Ὥστε περιρρεύσεται τὸ ὕδωρ, ἕως ἂν ἰσασθῇ. Ἴση δὲ ταῖς ἐκ τοῦ κέντρου ἡ ΑΕ. Ὥστ' ἀνάγκη πρὸς ταῖς ἐκ τοῦ κέντρου εἶναι τὸ ὕδωρ·

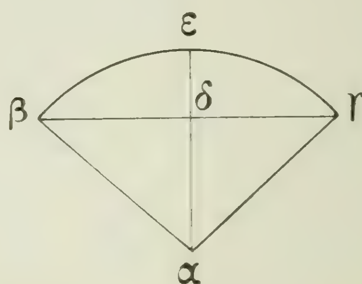


fig. 95.

τότε γὰρ ἠρεμήσει. Ἡ δὲ τῶν ἐκ τοῦ κέντρου ἁπτομένη περιφερής· σφαιροειδὴς ἄρα ἡ τοῦ ὕδατος ἐπιφάνεια ἐφ' ἧς ΒΕΓ. »

L'extrême brièveté du raisonnement d'Aristote ne va pas sans quelque obscurité. Nous allons retrouver ce raisonnement, sous forme plus explicite et plus claire, dans l'œuvre d'Adraste.

Élève immédiat du Stagirite, Adraste vécut, pense-t-on, de 360 à 317 avant J.-C. Ses écrits sont entièrement perdus. Mais de son enseignement touchant la rotondité de la Terre nous trouvons une copie ou un résumé très étendu dans un ouvrage (1) de Théon de Smyrne ; ce der-

(1) ΘΕΩΝΟΣ ΣΜΥΡΝΑΙΟΥ ΠΛΑΤΩΝΙΚΟΥ τῶν κατὰ τὸ μαθηματικὸν χρησίμων εἰς τὴν Πλάτωνος ἀνάγνωσιν. Μέρος Γ. Τὰ περὶ

nier vécut à une époque mal connue que l'on doit placer entre le règne de Tibère et celui d'Antonin le Pieux.

Pour prouver la sphéricité de la Terre, Adraste reprend, en les développant et les précisant, quelques-uns des arguments d'Aristote ; il reprend d'abord les arguments *à posteriori* :

« La sphéricité de la Terre est démontrée par cette raison que, de chaque partie de la Terre, notre regard embrasse la moitié du ciel, tandis que l'autre moitié, nous la jugeons cachée par la Terre, ne pouvant l'apercevoir...

» Et d'abord, la Terre est sphéroïdale de l'orient à l'occident ; le lever et le coucher des mêmes astres le prouvent bien ; ils ont lieu plus tôt pour les habitants des régions orientales, plus tard pour ceux des régions occidentales. Ce qui le montre encore, c'est une même éclipse de Lune ; elle se produit dans un même espace de temps assez court ; pour tous ceux qui peuvent la voir, elle paraîtra à des instants différents ; plus on sera vers l'orient, plus vite on la verra et plus tôt on en aura vu une plus grande partie...

» Il est encore évident que la Terre est convexe du nord au midi » ; en effet, les habitants des contrées septentrionales voient des étoiles que les méridionaux n'aperçoivent pas, et inversement.

A ces preuves, Adraste ajoute la raison mécanique donnée par Aristote ; cette raison, il la développe et la précise en ces termes :

« D'ailleurs, tout corps pesant se portant naturellement vers le centre, si nous concevions que certaines parties de la Terre fussent plus éloignées du centre, il faudrait

ἀστρολογίας. Περὶ τοῦ τῆς γῆς σφαιρικοῦ σχήματος. Théon de Smyrne, philosophe platonicien, *Exposition des connaissances mathématiques utiles pour la lecture de Platon*, traduite pour la première fois du grec en français par J. Dupuis ; Paris, 1892. Troisième partie : Astronomie. De la forme sphérique de la Terre, pp. 198 et suiv.

nécessairement, à cause de leur grandeur, que les petites parties qui les entourent fussent pressées, repoussées et éloignées du centre, jusqu'à ce que, l'égalité de distance et de pression étant obtenue, tout soit constitué en équilibre et en repos, comme deux poutres qui se soutiennent mutuellement ou comme deux athlètes de même force qui se tiennent mutuellement embrassés. Si les différentes parties de la Terre sont également éloignées du centre, il faut que sa forme soit sphérique.

» En outre, puisque la chute des corps pesants se fait toujours et partout vers le centre, que tout converge vers le même point et qu'enfin chaque corps tombe verticalement, c'est-à-dire qu'il fait avec la surface de la Terre des angles égaux, on doit conclure que la surface de la Terre est sphérique. »

Adraste, jusqu'ici, a paraphrasé, en les précisant quelque peu, les preuves de la sphéricité de la terre ferme données par son maître Aristote. Puis il ajoute : « la surface de la mer et des eaux tranquilles est aussi sphérique » et, s'inspirant encore du Stagirite, il entreprend de justifier cette affirmation :

« Souvent, dit-il, pendant une navigation, alors que du pont du navire on ne voit pas encore la Terre ou un vaisseau qui s'avance, des matelots grimpés au sommet d'un mât les aperçoivent, étant plus élevés et comme dominant la convexité de la mer qui faisait obstacle. »

Après avoir donné cette preuve, bien insuffisante mais demeurée classique, de la sphéricité de la mer, le philosophe péripatéticien poursuit en ces termes :

« On peut démontrer physiquement et mathématiquement que la surface de toute eau tranquille doit être de forme sphérique. L'eau tend, en effet, toujours à couler des parties les plus hautes vers les parties les plus creuses. Or les parties hautes sont celles qui sont le plus éloignées du centre de la Terre, les parties creuses sont celles qui le sont le moins. »

Comme Aristote, Adraste suppose, pour un instant, qu'une partie de la mer soit limitée par une surface plane ; il montre sans peine qu'il existerait sur cette surface βδγ (voir fig. 95) un point δ situé plus près du centre de la Terre α que les autres points β, γ, ... ; ce point δ est le pied de la perpendiculaire abaissée du point α sur le plan βγ ; ce point δ est, dès lors, plus bas que les points β, γ, ... ; « l'eau s'écoulera donc des points β, γ, ... vers le point δ moins élevé jusqu'à ce que ce dernier point, entouré de nouvelle eau, soit aussi éloigné du point α que β et γ. Pareillement, tous les points de la surface de l'eau devront se trouver à égale distance de α ; donc l'eau offre la forme sphérique et la masse entière de l'eau et de la terre est sphérique. »

Ce premier essai mécanique pour déterminer la forme d'équilibre des mers suscita, dès l'Antiquité, d'autres tentatives analogues. Archimède s'efforça à son tour de prouver que, par le fait de la pesanteur, la surface des eaux tranquilles est une sphère dont le centre est aussi celui du Monde. La démonstration d'Archimède semble plus savante que celle d'Aristote et d'Adraste ; cependant, une critique un peu sévère ne tarde pas à reconnaître (1) qu'elle ne repose pas sur une exacte notion de la pression hydrostatique. Mais nous n'insisterons pas ici sur la démonstration d'Archimède qui, jusqu'au XVIe siècle, ne paraît guère avoir attiré l'attention des physiciens.

Plus simple que le raisonnement du grand Syracusain, l'argumentation d'Aristote et d'Adraste a pu ravir l'adhésion de maint philosophe. Nous avons dit comment Théon de Smyrne nous avait conservé l'exposition d'Adraste. Nous retrouvons une trace de cette preuve, mais bien fruste et bien effacée, dans les *Pneumatiques* (2) de Héron

(1) P. Duhem, *Archimède a-t-il connu le paradoxe hydrostatique ?* (BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3te Folge, Bd. I., p. 15, 1900).

(2) Heronis Alexandrini *Spiritalium liber*, a Federico Commandino Urbinate ex græco nuper in latinum conversus ; Urbini, MDLXXV ; p. 12, verso, et p. 13, recto.

d'Alexandrie. Pline l'Ancien qui, sans doute, fut presque contemporain de Théon, expose également (1), sous une forme sommaire et imprécise d'ailleurs, la preuve mécanique de la sphéricité des mers imaginée par Aristote ; il admire « la subtilité géométrique dont ont fait preuve les inventeurs grecs en créant cette très heureuse et très glorieuse doctrine ».

A cette preuve physique de la rotondité des mers, Pline en ajoute une autre qui n'est point d'Aristote et qu'il avait sans doute lue dans les écrits de quelque autre philosophe grec. On s'étonne, dit-il, que l'eau prenne spontanément la figure d'une sphère ; « et cependant, il n'y a rien de plus manifeste dans toute la nature ; partout, les gouttes suspendues s'arrondissent en petites sphères ; jetées sur la poussière, déposées sur le duvet des feuilles, elles se présentent avec une sphéricité parfaite. Dans un vase plein, le liquide est plus élevé au milieu ; et ce phénomène, en raison de la ténuité et du peu de consistance du liquide, nous le concluons plus que nous ne le voyons. En effet, chose encore plus singulière, dans un vase plein, le liquide, pour peu qu'on y ajoute, déborde ; il ne déborde pas si l'on y fait glisser des poids qui vont souvent jusqu'à vingt deniers. Dans ce dernier cas, les poids introduits ne font qu'augmenter la convexité du liquide ; dans le premier, la convexité déjà existante fait que le liquide déborde incontinent. »

Nous savons aujourd'hui combien sont fautives ces comparaisons qui confondent les phénomènes dus à l'action de la pesanteur avec les effets de capillarité ; mais pouvons-nous reprocher aux physiciens de l'Antiquité ou du moyen âge de n'avoir pas nettement aperçu la distinction entre ces deux ordres de phénomènes ? Ne rencontrait-on pas bien souvent, il y a peu d'années, des physiciens qui, par une confusion toute semblable, cherchaient dans les expé-

(1) C. Plinii Secundi *Historia naturalis* ; lib. II.

riences de Plateau sur les phénomènes capillaires, une explication de l'anneau de Saturne et une preuve du système cosmogonique de Laplace ?

Claude Ptolémée, en l'*Almageste*, ne donne (1) que des preuves bien peu satisfaisantes de la sphéricité de la Terre et des mers ; il ne fait aucune allusion aux démonstrations *physiques* d'Aristote et d'Adraste ; à l'appui de la figure sphérique des mers, il donne cette raison que l'eau étant un élément homogène, le tout doit avoir même forme que ses parties ; sans doute il veut, par là, conclure de la sphéricité des gouttelettes liquides à la sphéricité des mers ; du moins, la plupart de ses commentateurs l'ont compris de la sorte.

Simplicius développe longuement (2) ce qu'Aristote avait dit de la figure de la Terre ; il corrige, d'après les déterminations d'Ératosthène, les dimensions que le Stagirite avait attribuées à notre globe. Il expose (3), sous une forme claire et explicite, le raisonnement par lequel la figure sphérique des mers est prouvée au *De Cœlo*. A cette preuve, il joint ces quelques lignes, dont il est à peine besoin de signaler la complète ressemblance avec le passage de Pline l'Ancien qui a été rapporté ci-dessus :

« Une observation nous conduit à penser que la surface de l'eau est sphérique ; lorsque des gouttes d'eau tombent sur une surface polie, comme une feuille de roseau ou une feuille d'arbre, elles se pelotonnent sur elles-mêmes et, lorsqu'elles ont pris la forme sphérique, elles demeurent en équilibre... Si l'on remplit d'eau un calice et si l'on introduit doucement dans cette eau des pièces de monnaie ou

(1) ΚΛΑΥΔΙΟΥ ΠΤΟΛΕΜΑΙΟΥ *μαθηματικὴ σύνταξις*, Α, γ. Claude Ptolémée, *L'Almageste*, livre I, ch. III.

(2) ΣΙΜΠΛΙΚΙΟΥ *εἰς τὰ Ἀριστοτέλους περὶ οὐρανοῦ ὑπόμνημα*, Β, ιδ. Simplicii *Commentarius in IV libros Aristotelis de Cœlo* recensione Sim. Karsteni ; Trajecti ad Rhenum, MDCCCLXV ; pp. 242 et suiv.

(3) ΣΙΜΠΛΙΚΙΟΥ *εἰς τὰ Ἀριστοτέλους περὶ οὐρανοῦ ὑπόμνημα*, Β, δ. Simplicii *Commentarius in IV libros Aristotelis de Cœlo* recensione Sim. Karsteni ; Trajecti ad Rhenum, MDCCCLXV ; p. 186.

d'autres masses, on voit la surface du liquide prendre la forme sphérique et l'eau ne s'écoule qu'après qu'elle a surpassé la surface de la sphère. »

Averroës, que la Scolastique nomme *le Commentateur* par excellence, ne fait guère que délayer ce qu'Aristote a dit de la figure et des dimensions de la Terre (1), de la forme sphérique des mers (2).

Arrivons au XIIIe siècle. Johannes de Sacro-Bosco, dont le traité *De la Sphère* va, pendant si longtemps, être la plus répandue des cosmographies, ne donne de la sphéricité des mers que les preuves déjà citées par Claude Ptolémée :

« Que l'eau soit renflée, dit-il (3), et qu'elle tende vers la sphéricité, cela se démontre ainsi : Que l'on plante un signal au bord de la mer, qu'un navire sorte du port et qu'il s'éloigne jusqu'à ce que l'œil d'un observateur, placé au pied du mât, ne voie plus le signal ; si le navire s'arrête alors et si l'observateur monte au haut du mât, il verra fort bien le signal... Autre preuve : L'eau étant un corps homogène, le tout est de même espèce que ses parties ; mais les parties de l'eau tendent naturellement à la forme sphérique, comme on le voit dans les gouttes d'eau ou dans les perles de rosée adhérentes aux herbes ; le tout, dont ce sont les parties, doit donc aussi tendre vers la forme sphérique. »

Les philosophes et les physiciens, commentateurs d'Aristote ont, au sujet de la sphéricité de la Terre et des mers, des opinions mieux fondées que celles de leurs contemporains, les astronomes du XIIIe siècle. Déjà, au premier livre de ses *Météores*, Albert le Grand donne de la

(1) Aristotelis *De Cœlo, de generatione et corruptione, meteorologicorum, de plantis, cum* Averrois Cordubensis *commentariis;* Venetiis, apud Juntas, MDLXXIII. *De Cœlo*, lib. II; Summa quarta : de Terra ; Cap. 7. pp. 165-172.

(2) Averroës, *Op. cit.*, *De Cœlo*, lib. II ; Summa secunda : de circulari corpore; Quæsitum tertium, pp. 114-115.

(3) Johannes de Sacro-Bosco, *De Sphæra*, Cap. I.

rotondité des gouttelettes d'eau une explication qui fait disparaître toute analogie entre ce phénomène et la figure des mers. Maître Albert déclare que les gouttes d'eau prennent cette forme parce que leurs diverses parties, plus intimement unies entre elles, résistent mieux aux causes de destruction. Dans son *De Cœlo*, il se borne, à l'imitation d'Averroès, à diluer l'argumentation d'Aristote.

Sans rien ajouter aux arguments d'Aristote, saint Thomas d'Aquin les expose avec une grande clarté et une grande fidélité, soit qu'ils concernent la forme de la terre (1), soit qu'ils aient trait à la figure des mers (2).

Roger Bacon, lui aussi, s'en tient, pour la sphéricité des mers, à l'exposé de la preuve mécanique d'Aristote (3); il y joint (4) ce corollaire, qui fit fortune dans l'École : Un vase donné renferme d'autant moins de liquide qu'on l'éloigne d'avantage du centre de la Terre.

Il nous faut arriver jusqu'au XIVe siècle et à l'enseignement d'Albert de Saxe pour voir la doctrine péripatéticienne relative aux questions qui nous occupent s'enrichir de quelque addition importante.

Lorsqu'Albert de Saxe examine cette question (5) : « La Terre entière est-elle sphérique ? » il a assurément sous les yeux le texte d'Aristote et le commentaire de Simplicius; mais il consulte aussi le texte de Théon de Smyrne ou bien un exposé que ce texte a inspiré; une foule d'indices nous en assurent.

Lisons, par exemple, dans les *Questions* du vieux maître

(1) Sancti Thomæ Aquinatis, Doctoris angelici, *Opera omnia* jussu impensaque Leonis XIII, P. M., edita. Tomus III. Romæ, MDCCCLXXXVI. *Commentaria in libros Aristotelis de Cœlo et Mundo ;* in lib. II lectio XXVII, p. 224.

(2) Id., *ibid.*, in lib. II lectio VI, p. 145.

(3) Rogerii Bacconis *Specula mathematica*. Distinctio IV. Caput IX : De figura mundi. — *Opus majus*, édit. Jebb, p. 95.

(4) Id. *ibid.*, Caput X : Quod plus aquæ contineat vas inferiori, quam superiori loco positum. — *Opus majus*, édit. Jebb, p. 97.

(5) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo;* in librum II quæstio XXVII (Ed. 1492) vel XXV (Ed. 1508).

scolastique, les preuves de la sphéricité de la Terre ; nous y retrouvons les arguments d'Adraste, rangés *dans l'ordre même* où Théon de Smyrne nous les a présentés :

« *Première conclusion.* La Terre n'est pas rigoureusement sphérique ; cela est évident, car elle présente un grand nombre de montagnes et de vallées.

» *Seconde conclusion.* La Terre est ronde de l'orient à l'occident. On le prouve ; en effet, s'il n'en était pas ainsi, les mêmes étoiles se lèveraient et se coucheraient aussi tôt pour les hommes qui habitent vers l'occident que pour ceux qui habitent vers l'orient... Or cette conséquence est fausse ; le jour et la nuit commencent plus tôt pour ceux qui habitent à l'orient que pour ceux qui habitent à l'occident ; cela résulte évidemment de ce fait, souvent constaté, qu'une même éclipse de Lune, aperçue par les orientaux à la troisième heure de la nuit, est vue par les occidentaux à la première ou à la seconde heure selon qu'ils habitent plus ou moins à l'ouest des premiers ; et cela n'aurait point lieu si la nuit ne commençait pas de meilleure heure pour les orientaux.

» *Troisième conclusion.* De même, la Terre est ronde du nord au midi. On le prouve ; car si un voyageur s'avance suffisamment du nord vers le sud, il voit le pôle s'élever sensiblement ; cela ne peut provenir que du renflement présenté par la Terre entre le nord et le sud.

» En second lieu, un voyageur pourrait s'avancer du nord vers le sud assez pour voir certaines étoiles qui auparavant, ne lui apparaissaient point ; en même temps certaines constellations se cacheraient à ses yeux, qui auparavant, se montraient à lui. Cela ne peut être qu'un effet du renflement de la Terre entre le nord et le sud.

» *Quatrième conclusion.* La Terre est ronde à ce point que, par rapport à la Terre entière, les élévations des montagnes sont petites et comme négligeables. On le prouve, en premier lieu, parce que lorsque les graves tombent sur un sol qui n'est point celui d'une montagne

ni d'une vallée, ils tombent à angles égaux [normalement]. Cela n'aurait point lieu si les graves ne tendaient point au même centre ; et comme toutes les parties de la Terre sont graves, il en résulte qu'elles tendent toutes au même centre. Cela ne serait point si la Terre n'était pas ronde ou ne tendait pas naturellement à la rondeur.

» En second lieu, les parties de la Terre tendent toutes également vers le centre du Monde ; elles descendent aux lieux les plus bas, à moins qu'elles ne se soutiennent l'une l'autre comme on le voit des montagnes ; néanmoins, au cours des temps, toute chose descendra et se précipitera vers le centre du Monde ; il semble que ce soit là la cause de la rotondité de la Terre.

» De là on peut connaître que si la Terre était fluide comme l'eau, de telle sorte que ses diverses parties ne se soutinssent point l'une l'autre, elle coulerait vers une rotondité uniforme et une sphéricité parfaite. »

Jusqu'ici Albert de Saxe n'a guère fait que mettre en forme scolastique les arguments qu'Adraste avait donnés en faveur de la sphéricité de la Terre. Il y joint l'argument tiré de la forme de l'ombre de la Terre dans les éclipses de Lune, argument qu'Aristote avait produit mais qu'Adraste avait négligé, puis il ajoute ce passage :

« Au sujet de cette conclusion, il faut savoir que l'on peut déterminer par l'expérience si la Terre est ronde, du moins du sud au nord. Qu'un observateur, partant d'un certain lieu, se déplace vers le nord jusqu'à ce que le pôle lui semble plus élevé d'un degré qu'auparavant, et qu'il mesure le chemin parcouru. Cela fait, qu'il revienne à son point de départ et que, partant de ce lieu, il se dirige vers le midi, jusqu'à ce que le pôle lui paraisse moins élevé d'un degré qu'il n'était au lieu marqué comme point de départ ; qu'il mesure de nouveau le chemin parcouru. Si ces deux chemins se trouvent être égaux, c'est un signe certain que la Terre est circulaire du nord au sud ; si, au contraire, il se trouvait qu'ils ne fussent point égaux,

ce serait un signe que la Terre n'est point ronde du nord au sud. »

Les anciens avaient trouvé dans la mesure de l'arc d'un degré le moyen de déterminer la grandeur de la Terre supposée *sphérique ;* nous avons vu que cette méthode était déjà connue d'Aristote qui la tenait peut-être d'Eudoxe; mais que la mesure d'un degré du méridien, répétée sous diverses latitudes, pût servir à déterminer la forme réelle du globe, c'est une idée qui ne paraît point s'être présentée à l'esprit des astronomes de l'Antiquité (1). Le passage d'Albert de Saxe que nous venons de citer montre que la Scolastique du XIVe siècle l'avait nettement formulée. Il appartenait à la Science du XVIIe siècle d'en aborder la réalisation.

Ajoutons qu'Albert de Saxe n'imite point ceux qui cherchent dans les effets capillaires une raison de la rotondité des mers. Dans la dernière des *Questions* relatives au *De Cœlo*, il range (2) au nombre des objections à réfuter, cette proposition, qu'il emprunte à Ptolémée, à Simplicius et à J. de Sacro-Bosco : « En un corps homogène, le tout doit avoir la même figure que les parties ; sinon, ce ne serait point un homogène ; mais les particules de l'eau semblent tendre vers la sphéricité, comme le montrent les gouttes de rosée ou de pluie ; la masse totale de l'eau doit donc, elle aussi, être sphérique. »

A cette proposition, Albertutius répond, avec Albert le Grand : « Au sujet de la figure sphérique des gouttes d'eau, je dis que ce n'est point une conséquence de la forme substantielle de l'eau ; elle résulte plutôt de la fuite des contraires, car cette figure sphérique est celle où les diverses parties se trouvent le plus étroitement unies, où

(1) Cf. Paul Tannery, *Recherches sur l'Histoire de l'Astronomie ancienne* (Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, 4e série, t. I, p. 104 ; 1893).

(2) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo;* in librum III quæstio ultima.

elles peuvent le mieux résister à une cause de corruption ; aussi n'importe quelle masse tend-elle à prendre cette figure, pourvu qu'elle n'en soit pas empêchée par quelque autre cause, comme la dureté ou la pesanteur. Cette tendance se remarque surtout lorsque le corps est en petite quantité ; elle ne convient pas seulement à l'eau, mais à tous les liquides, comme on le voit avec le vif argent. »

Albert de Saxe ne s'est pas contenté d'exposer, au sujet de la sphéricité terrestre, les divers arguments d'Aristote et d'Adraste, perfectionnés en un point important ; il y a joint une série de corollaires curieux, d'allure paradoxale, destinés sans doute à frapper l'esprit de ses disciples. Pour l'histoire du développement de la Statique, ces corollaires sont, nous le verrons, d'une importance particulière ; citons-les donc *in extenso :*

« 1° De ce que la Terre est ronde, il résulte que les lignes normales à la surface de la Terre, lorsqu'on les prolonge vers le centre, vont sans cesse en se rapprochant les unes des autres et concourent au centre.

» 2° Il en résulte que si l'on construisait deux tours verticales, plus elles s'élèveraient et plus elles s'écarteraient l'une de l'autre ; et plus elles seraient basses, plus elles seraient proches.

» 3° Si l'on creusait un puits au fil à plomb, ce puits serait plus large au voisinage de l'orifice qu'au fond.

» 4° Toute ligne dont tous les points sont à égale distance du centre est une ligne courbe ; car, si elle était droite, certains de ses points seraient plus près du centre et d'autres plus éloignés ; ses divers points ne seraient pas équidistants du centre ; ils ne seraient pas aussi bas les uns que les autres. Si une ligne droite touche la surface terrestre en son point milieu, son point milieu est plus voisin du centre de la Terre que ses extrémités. Il en résulte que si un homme marchait suivant cette ligne droite, il descendrait une partie du temps et monterait ensuite ; il descendrait, en effet, tant qu'il se

dirigerait vers le point qui est le plus voisin du centre de la Terre ; il monterait à partir du moment où il s'éloignerait de ce point ; il est clair, en effet, que durant la première partie du temps, il s'approcherait sans cesse du centre de la Terre et qu'il s'en éloignerait durant la seconde partie ; or, s'approcher du centre de la Terre, c'est descendre, et s'en éloigner, c'est monter.

» On peut conclure de là qu'un mobile qui, entre deux termes donnés, décrit un trajet qui sans cesse monte ou descend peut fort bien faire moins de chemin que s'il allait de l'un de ces termes à l'autre sans monter ni descendre. Cela se voit clairement en supposant que le premier trajet soit un diamètre de la Terre, tandis que le second serait la demi-circonférence qui a ce diamètre pour corde.

» 5° Lorsqu'un homme se promène à la surface de la Terre, sa tête se meut plus vite que ses pieds ; car la tête, qui est en l'air, décrit une plus grande circonférence que les pieds qui touchent le sol. On pourrait concevoir un homme si grand que sa tête se mouvrait en l'air deux fois plus vite que ses pieds sur le sol. »

Ces corollaires de la sphéricité terrestre, bien capables de frapper l'imagination des « escholiers de Sorbonne » qui se pressaient au pied de la chaire de Maître Albert de Saxe devaient, un jour, conduire Léonard de Vinci à découvrir un important théorème de Statique.

5. *La tradition d'Albert de Saxe dans l'École : Thimon le Juif, Marsile d'Inghen, Blaise de Parme Pierre d'Ailly, Jean-Baptiste Capuano Nipho, Grégoire Reisch*

Georges Lokert qui, en 1516 et 1518, donna deux éditions des *Questions* d'Albert de Saxe sur la *Physique* d'Aristote, sur le *De generatione et corruptione* et sur le

De Cœlo et Mundo, était bien placé, assurément, pour connaître les traditions de l'Université de Paris ; en 1516, il était professeur de Physique au Collège de Montaigu ; en 1518, il enseignait en Sorbonne.

Georges Lokert, en l'*Epistola nuncupatoria et parænetica* qu'il met en tête de ses deux éditions, nous apprend qu'au XIVe siècle, trois hommes excellaient en Philosophie naturelle et formaient, au sein de l'École parisienne, une sorte de triumvirat ; ces trois hommes étaient Albert de Saxe, Thimon et Jean Buridan. Il ajoute que les Italiens, et, en particulier, les Vénitiens, se sont empressés de livrer à l'impression les œuvres des deux premiers, tandis que les écrits de Buridan sont encore inédits. Les Français, plus négligents, semblent laisser les œuvres de leurs maîtres illustres moisir dans la poussière. C'est pour remédier à cette incurie que Georges Lokert publie non seulement les commentaires à la *Physique*, au *De generatione et corruptione*, au *De Cœlo et Mundo* composés par Albert de Saxe, mais encore les *Quæstiones super quatuor libros meteorum compilatæ per doctissimum Philosophiæ professorem Thimonem* et ce que Buridan a écrit sur les divers traités qui composent les *Physica minora* d'Aristote. Par les soins de Lokert, nous possédons ainsi un précieux héritage de la Physique que l'on enseignait en Sorbonne au milieu du XIVe siècle.

Qu'était-ce que Thimon ?

Du Boulay (1) nous donne quelques brèves indications au sujet de Timon le Juif (*Temo judæus*). C'était, nous dit-il, un clerc de la ville de Münster en Westphalie ; il débuta dans l'étude des arts, à la Sorbonne, en 1349, sous Maître Dominique de Chivasso. Le 26 août 1353, il fut élu Procureur de la Nation Anglaise ; cette charge lui fut de nouveau confiée le 18 novembre 1355. « Ce fut un très célèbre professeur de Philosophie ; nous avons lu que bon

(1) Bulæus, *Historia Universitatis Parisiensis*, MDCLXVIII, t. IV, p. 991.

nombre d'étudiants ont débuté avec lui, ont conquis le grade de licencié et ont terminé leurs études. »

Plus jeune qu'Albert de Saxe, Thimon le Juif a sans doute suivi les enseignements de ce maître. La trace de ces enseignements se reconnaît maintes fois dans les *Questions* sur les *Météores* ; en ces *Questions*, les commentaires au *De Cœlo et Mundo* composés par Albertus de Saxonia sont explicitement cités et discutés.

La pensée de Thimon le Juif n'a pas toujours la fermeté logique qui caractérise les doctrines d'Albert de Saxe ; parfois, on la voit hésiter quelque peu entre deux opinions contraires ; elle ne s'en montre pas moins ingénieuse et originale ; sur beaucoup de questions de Physique, Thimon a vu plus loin et plus juste que ses devanciers ; les solutions qu'il a proposées, les hypothèses qu'il a émises ont grandement influé sur le développement de la Physique à l'époque de la Renaissance ; il est telle vérité, admise aujourd'hui sans conteste, dont la découverte a été préparée et provoquée par ses recherches.

Les *Questions* de Thimon le Juif au sujet des *Météores* d'Aristote mériteraient donc une étude approfondie ; mais ce n'est point ici le lieu de poursuivre cette étude ; nous devons nous borner à relever, parmi les affirmations de notre auteur, ce qui concerne la tendance du centre de gravité de tout poids vers le centre de l'Univers.

Thimon connaît la doctrine d'Albert de Saxe ; il connaît même les deux doctrines de ce maître ; l'une, celle qui a été donnée aux *Questions sur la Physique*, affirme que le centre de l'Univers est occupé par le centre commun des graves, de l'eau aussi bien que de la terre ; l'autre, celle qui a été exposée aux *Questions* sur le *De Cœlo*, soutient que, seul, le centre de gravité de la terre ferme se trouve au centre du monde. Entre ces deux doctrines, Thimon hésite ; son adhésion s'attache tantôt à l'une, tantôt à l'autre, et ses hésitations engendrent des contradictions.

Au premier livre de ses *Quæstiones perutiles* (1), nous voyons Thimon admettre, contrairement aux théories d'Albert de Saxe, que l'eau des mers pèse sur la terre ferme et qu'il faut tenir compte de leur poids pour déterminer la position de la terre par rapport au centre du Monde.

« J'imagine, dit-il, que, du côté du globe qui nous est opposé, la mer pénètre en des cavités dont la terre est creusée ; entre ces cavités s'élèvent des proéminences pierreuses, beaucoup plus pesantes que la terre qui se trouve de notre côté ; et peut-être la pesanteur de l'eau vient-elle en aide à la gravité de ces parties de la terre qui se trouvent au delà du centre ; dès lors, grâce au concours de la pesanteur de l'eau, ces parties pèsent plus que les terres habitables, bien que celles-ci soient plus volumineuses ; c'est pourquoi la surface convexe de ces dernières peut se trouver plus loin du centre du Monde que la surface convexe qui termine l'eau de l'autre côté du globe. »

« Il est des philosophes, dit-il ailleurs (2), dont l'opinion est telle : la terre et la mer constituent un poids unique ; le centre de gravité de cet agrégat coïncide avec le centre du Monde ; ce qui se trouve donc au centre du Monde, ce n'est ni le centre de gravité de la terre ferme, ni le centre de gravité de l'eau, ni le centre de grandeur, mais bien le centre de gravité de l'ensemble formé par la terre et l'eau.

» Cette opinion me semble probable et forte. » Toutefois, Thimon lui oppose des objections, d'ailleurs fort peu claires ; et ces objections le ramènent à l'opinion qu'Albert de Saxe a soutenue dans ses *Quæstiones* sur le *De Cœlo*.

« Il me paraît donc plus vraisemblable que le centre de gravité de la terre ferme se trouve au centre du Monde ou près de ce centre ; en la partie du globe que l'eau recouvre, la terre ferme est beaucoup plus lourde que celle qui

(1) Thimonis *Quæstiones in libros Meteorum* ; in librum I quæstio V.
(2) Id., *ibid.* ; in librum II quæstio I.

se trouve de notre côté ; quant à l'eau, bien qu'elle soit naturellement grave, elle est moins grave que la terre ; cette eau demeure donc simplement superposée à la partie la plus dense de la terre, tandis qu'émerge la partie de la terre qui est la plus légère. »

Incidemment, Thimon rejette une théorie inadmissible qu'il formule (1) en ces termes :

« On a émis l'opinion suivante : La terre et l'eau sont toutes deux excentriques au Monde ; c'est pourquoi la terre est en partie découverte par les eaux, car la terre et l'eau sont toutes deux sphériques. »

Cette doctrine inacceptable, visée par Thimon, est sans doute, si nous en croyons Giuntini (2), celle que Nicolas de Lyre (3) avait émise dans son commentaire au premier chapitre de la Genèse.

A l'encontre de cette opinion de Nicolas de Lyre, Albert a enseigné (4) que la terre ferme était à peu près sphérique, mais que son centre de gravité, et non pas son centre de figure, se trouvait au centre du Monde ; quant à l'eau, elle est exactement bornée par une surface sphérique dont le centre est le centre même de l'Univers.

C'est cette doctrine même que reprend Thimon lorsqu'il écrit (5) :

« Le centre de gravité de la terre ferme tout entière coïncide avec le centre du Monde ; c'est autour de ce

(1) Thimon, *loc. cit.*

(2) Fr. Junctini Florentini, sacræ theologiæ doctoris, *Commentaria in Sphæram Joannis de Sacro Bosco accuratissima*. Lugduni, apud Philippum Tinghium, MDLXXVIII ; p. 178.

(3) Nicolas de Lyre était né à Neuve-Lyre (Eure) vers 1270 ; en 1291, il était franciscain à Verneuil ; il mourut à Paris en 1340. Ses commentaires ont été maintes fois imprimés : Nicolai Lyrani *Postillæ perpetuæ in vetus et novum Testamentum* ; Romæ, 1471-1472. — *Biblia sacra latina cum postillis* Nicolai de Lyra ; Venetiis, 1481. — Nicolai de Lyra *Postillæ morales seu mysticæ super Bibliam* ; Mantuæ, 1481. — *Moralia super totam Bibliam* fratris Nicolai de Lira ; Argentorati, circa 1479 ; etc.

(4) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo* ; in librum II quæstio XXV.

(5) Thimon, *loc. cit.*

même centre que l'eau demeure en repos ; c'est vers lui qu'elle se meut ; elle s'en approche autant que possible.

» Imaginons que la terre soit, tout d'abord, supprimée et que toute l'eau se trouve réunie autour du centre du Monde ; concevons ensuite que l'on submerge la partie la plus lourde de la terre ferme jusqu'à ce que le centre de gravité de cette terre occupe le centre du Monde ; car on admet que cette sphère terrestre n'est pas d'une gravité uniforme ; qu'un quart de cette sphère est, par exemple, plus lourd que tout le reste ; cette partie la plus lourde demeurerait alors près du centre [et au-dessous de lui], tandis que les trois autres quarts demeureraient au-dessus ; ainsi il pourrait se faire qu'une partie de la terre demeurât hors de l'eau, à cause de sa plus grande légèreté. »

L'influence d'Albert de Saxe, nous le voyons par l'exemple de Thimon, fut grande sur ses contemporains. Cette influence se fit sentir dans l'École d'une manière puissante et persistante.

Jean Marsile d'Inghen fut, en 1386, nommé recteur de Heidelberg ; il mourut en cette ville le 20 août 1396. Ses *Questions* sur la *Physique* d'Aristote (1), conçues sur le même plan que les *Questions* d'Albert de Saxe, ont été constamment inspirées par la lecture des œuvres de ce dernier ; les énoncés des unes sont souvent identiques aux énoncés des autres ; acceptées ou combattues, la plupart des doctrines physiques d'Albertutius s'y retrouvent, souvent complétées et précisées ; son nom seul, par un oubli systématique que nous aurons maintes fois à constater, a été omis ; Marsile d'Inghen se borne à déclarer qu'il suit les doctrines de

(1) *Quæstiones subtilissimæ* Johannis Marcilii Inguen *super octo libros Physicorum, secundum nominalium viam*, cum tabula in fine libri posita : suum in lucem primum sortiuntur effectum. — Colophon : Expliciunt quæstiones super octo libros Physicorum magistri Johannis Marcilii Inguen secundum nominalium viam. Impressæ Lugduni per honestum virum Johannem Marion. Anno Domini MCCCCCXVIII, die vero XVI mensis Julii. Deo gratias.

Nous avons vu précédemment (p. 14) comment, en 1617, ces *Questions* de Marsile d'Inghen avaient été attribués à Duns Scot.

l'École nominaliste, qu'il traite la Physique *secundum nominalium viam.* D'ailleurs, l'œuvre de Marsile d'Inghen est fort inférieure à celle de son précédesseur ; parfois, il en reproduit les opinions sans les avoir, semble-t-il, suffisamment comprises.

C'est ce qui a lieu, notamment, en la question (1) où Marsile d'Inghen examine ce problème : « L'eau est-elle le lieu naturel de la terre ? »

Après avoir rapporté, à peu près comme le fait Albert de Saxe, les diverses objections que l'on peut apporter contre cette affirmation : « L'eau est le lieu naturel de la terre », Marsile remarque que la difficulté de la question examinée provient de cette autre, à laquelle il faut auparavant répondre : « Pourquoi la terre est-elle en partie couverte d'eau et en partie découverte ? »

Le recteur de Heidelberg cite alors plusieurs réponses qu'il rejette. Certains, par exemple (c'est l'opinion que soutenait Duns Scot et que soutenait également Campanus de Novare, à la fin du XIII[e] siècle, en son traité *De Sphæra*), prétendent qu'il existe une terre ferme pour le salut des animaux qui ne peuvent vivre sous l'eau. « Cette réponse assigne une cause finale, et point une cause efficiente..., tandis que c'est une cause efficiente que nous cherchons, et là gît la difficulté.

» D'autres répondent que la terre et l'eau sont deux sphères qui se coupent, car elles n'ont point même centre ; du côté découvert par les eaux, le centre de la terre est plus élevé. » Cette opinion, nous l'avons dit, fut celle de Nicolas de Lyre ; Marsile la réfute comme l'a fait Thimon, en son livre des *Météores*, que le recteur de Heidelberg paraît bien avoir lu : « Le même point est centre du Monde et centre de la gravité ; la masse entière de l'eau et la masse entière de la terre solide ont donc même centre... D'ailleurs, la terre habitable ou, du moins,

(1) Johannis Marcilii Inguen *Quæstiones in libros Physicorum ;* circa librum IV quæstio V.

la terre ferme serait de forme circulaire. Cette conséquence est fausse... car la terre habitable est plus longue que large. »

Après avoir relaté ces diverses opinions, Marsile d'Inghen expose celle-ci, où nous reconnaissons la doctrine favorite d'Albert de Saxe : « En cette explication, on suppose tout d'abord que les diverses parties de la terre n'ont pas même gravité ; l'expérience nous prouve qu'il en est de plus lourdes et de moins lourdes... De là découle cette seconde supposition que le centre de gravité de la terre ne coïncide pas avec son centre de grandeur.

» Ces suppositions faites, on imagine que la terre plonge dans l'eau comme une colonne dont la partie inférieure serait, de toutes parts, entourée d'eau, tandis que l'autre partie émergerait et formerait ce que l'on nomme la terre ferme. Concevons, par exemple, qu'un clou se trouve en équilibre au centre de la terre ; il n'y aurait qu'une faible longueur de ce clou d'un certain côté du centre, savoir, du côté où se trouve la tête du clou ; et cela parce que la tête est beaucoup plus lourde que le reste du clou. Eh bien, on suppose que la terre est placée de même par rapport au centre et sous l'eau. »

Marsile d'Inghen rejette cette explication par une argumentation peu compréhensible ; il en propose une autre d'après laquelle l'eau, dont la masse totale est fort petite, remplirait seulement certaines cavités creusées au sein de la terre solide. N'insistons pas sur cette théorie, assurément moins philosophique que celle d'Albertutius.

Un point mérite de retenir un instant notre attention. Non seulement, en exposant cette doctrine, Marsile ne cite pas Albert de Saxe, mais il attribue formellement cette théorie à Campanus de Novare : « Quinta via est quam ponit Campanus in tractatu suo de Sphæra. »

Or, dans son traité de la Sphère (1), Campanus traite, en effet, de l'existence de la terre ferme. Mais il se borne

(1) Campani *Tractatus de Sphæra* : Cap. V. Quare Sphæra non sit integra.

à affirmer que la surface de l'eau est une sphère ayant pour centre le centre même du Monde ; que les continents, qui émergent comme de véritables îles, ont leur surface plus distante du centre du Monde que le niveau des mers. A l'appui de cette affirmation, il n'apporte aucune explication mécanique ; il se borne à invoquer une cause finale, les besoins de la vie animale.

Un peu plus loin (1), Marsile d'Inghen examine, comme Albert de Saxe, si un grave contient une résistance intrinsèque au mouvement ; il expose avec beaucoup de précision l'opinion de ceux qui, avec Roger Bacon, prétendaient trouver l'origine de cette résistance en la tendance de chaque partie du grave à gagner le centre du Monde et en la gêne que la tendance de chacune d'elles éprouve de la part du désir des autres. Comme Albert de Saxe, Marsile d'Inghen répond que « chaque partie du grave ne désire pas gagner le centre en suivant la ligne qui joint chacune d'elles au centre... C'est le grave tout entier qui tombe de telle sorte que son centre devienne le centre du Monde, ou mieux, de manière à se joindre à l'ensemble des choses graves dont le centre doit être le centre du Monde... Pour la satisfaction de ce désir du grave, il faut que le centre de gravité de ce corps se trouve sans cesse sur un des rayons terrestres. »

La question où Marsile écrit ce passage est, d'ailleurs, intéressante à bien des égards ; nous l'y voyons successivement réfuter une opinion émise par le Précurseur de Léonard de Vinci, puis appeler à son aide une proposition qu'il déclare tirée du *Tractatus de ponderibus*. Nous trouvons là de nouveaux arguments en faveur d'une remarque que la lecture d'Albert de Saxe nous avait déjà suggérée : Les découvertes de l'École de Jordanus ont été l'œuvre de mécaniciens peu soucieux, en général, de questions philosophiques. Les philosophes scolastiques se sont préoccupés

(1) Johannis Marcilii Inguen *Quæstiones in libros Physicorum ;* circa librum IV quæstio VIII.

de bonne heure des rapprochements que l'on pouvait établir ou des divergences que l'on devait constater entre ces découvertes et les principes de la Physique d'Aristote. Cette préoccupation a produit, dès le XIIIe siècle, le *Commentaire péripatéticien* aux *Elementa Jordani de ponderibus* ; nous la retrouvons, au XIVe siècle, dans les *Questions* d'Albert de Saxe ou de Marsile d'Inghen.

Les passages que nous venons de mentionner ne sont d'ailleurs pas les seuls où Marsile d'Inghen fasse allusion aux écrits de l'École de Jordanus. Lorsqu'il veut établir (1) que les variations de la vitesse d'un corps mû sont proportionnelles aux variations de la puissance du moteur, Marsile se heurte à cette objection : « Un grave pendu à une balance se meut tantôt plus vite, tantôt moins vite, bien qu'il se trouve toujours dans le même milieu. » A cette objection, il répond en ces termes : « Bien qu'ici la gravité essentielle demeure toujours la même, il se fait un gain de gravité accidentelle, due à la situation et provenant de ce que le grave regarde le centre auquel il tend plus directement qu'auparavant ; c'est cette gravité accidentelle que l'on nomme *gravitas secundum situm*, comme on le voit dans le traité *De ponderibus.* »

Par Marsile d'Inghen, nous avons vu l'influence d'Albert de Saxe s'exercer à la fin du XIVe siècle ; nous allons voir qu'elle se prolongea bien au delà.

C'est ainsi qu'au XVe siècle, Biagio Pelacani éprouva tout particulièrement cette influence. Il suffit de lire attentivement le *Tractatus de ponderibus* de Maître Blaise de Parme pour y reconnaitre les traces des doctrines d'Albert de Saxe.

La troisième et dernière partie du *Traité des poids* de Blaise de Parme est consacrée à l'Hydrostatique. Assurément les propriétés des poids spécifiques et l'emploi de l'aréomètre à poids constant, qui s'y trouvent exposés,

(1) Johannis Marcilii Inguen *Quæstiones in libros Physicorum;* circa librum IV quæstio XI.

remontent à l'Antiquité ; nous les trouvons dans le livre *De ponderibus* attribué à tort à Archimède et dans le *Carmen de ponderibus*. Mais l'ordre et la forme des questions traitées par Pelacani semblent presque textuellement empruntés à Albert de Saxe (1).

La seconde proposition de la seconde partie du traité de Biagio Pelacani est ainsi formulée : *Triplum pondus ad aliud, in æquilibri positum, medio uniformiter ut unum resistente, subtriplum ad ipsum non levabit.* Cette proposition et la démonstration qui en est donnée sont extraites presque textuellement des *Questions* (2) de Saxonia et de Marsile d'Inghen sur les *Physiques* d'Aristote.

Albert de Saxe nie (3) que l'intensité de la pesanteur varie avec la distance au centre du Monde : « L'éloignement du centre du Monde fait bien que les diverses parties d'un grave tendent à gagner leur lieu naturel par des chemins différents ; mais jamais la distance n'empêcherait un grave de tendre à son lieu naturel. » Il semble que ce passage, qui, lui-même, paraît découler d'un argument de Roger Bacon, ait suggéré à Blaise de Parme une remarque qu'il développe et que nous avons mentionnée : Bien que chacune des parties d'un grave garde un poids invariable, l'inclinaison mutuelle de ces divers poids fait que le poids total du grave est d'autant plus petit que le corps est plus voisin du sol. Cette remarque semble, d'ailleurs, être devenue classique dans les Écoles ; nous la retrouverons jusque dans les écrits de Mersenne et de Descartes.

Le célèbre Pierre d'Ailly était contemporain de Blaise de Parme. Né à Compiègne en 1330, il fut grand-maître

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo;* in librum III quæstiones I et II.

(2) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de physico Auditu ;* in librum IV quæstio X. — Johannis Marcilii Inguen *Quæstiones in libros Physicorum ;* circa librum IV quæstio IX.

(3) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo ;* in librum I quæstio X.

du Collège de Navarre en 1384, évêque de Cambrai, cardinal en 1411, légat du pape en Allemagne et à Avignon ; il mourut en 1420. Parmi ses nombreux écrits se trouve un commentaire, en quatorze questions, au traité *De Sphæra* composé par Sacro-Bosco ; ce commentaire est presque toujours compris en ces collections de traités cosmographiques qui furent si souvent éditées à la fin du XV[e] siècle et au commencement du XVI[e] siècle (1).

La cinquième question de Pierre d'Ailly est ainsi formulée : « Le ciel et les quatre éléments ont-ils la forme sphérique? » Pour répondre à cette question, Pierre d'Ailly reproduit presque textuellement ce qu'Albert de Saxe a écrit sur le même sujet dans ses *Quæstiones* relatives au *De Cœlo*. D'ailleurs, tout en faisant cet emprunt large et

(1) Voici, à titre de documents, les collections de ce genre que nous avons consultées :

1° Barthol. Vespuccio (Florent.) *De laudibus Astrologiæ*. — *Textus Sphæræ* Joa. de Sacro Busto. — Capuani de Manfredonia *Expositio sphæræ*. — Jac. Fabri Stapulensis *Comment. in Sphæram*. — Petri de Aliaco card. *Quæstiones* XIIII. — Roberti Linconiensis episc. *Compendium Sphæræ*. — *Disput*. Joa. de Regio Monte *contra Cremonensia deliramenta*. — Fr. Capuani *Theoricarum novarum textus cum expositione*. — Colophon : Venetiis, per Jo. Rubeum et Bern. fratres Vercelli, ad instant. Junctæ de Junctis. 1508.

2° *Sphæra, cum commentis in hoc volumine contentis, videlicet :* Cichi Esculani *cum textu*. — Expositio Joan. Baptistæ Capuani *in eandem*. — Jacobi Fabri Stapulensis. — Theodosii *De Sphæris* — Michaelis Scoti. — *Quæstiones* reverendissimi Domini Petri de Aliaco, *etc* — Roberti Linchoniensis *Compendium*. — *Tractatus de sphæra solida*. — *Tractatus de computo majori* ejusdem. — *Disputatio* Joannis de Monteregio. — *Textus theoricæ cum expositione* Joannis Baptistæ Capuani. — Ptolemeus *de speculis*. — Colophon : Venetiis, impensa hæredum quondam Domini Octaviani Scoti Modoetiensis ac sociorum ; 19 Januarii 1528.

3° *Sphæræ tractatus* Jo. de Sacro Busto. — Gerardi Cremon. *Theoricæ planetarum*. — G. Purbachii *Theor. planet*. — Prodoscimi de Beldomando Patav. *Comm. sup. tractatu sphærico*. — Joannis Bapt. Capuani *Expos. in sphæra*. — Mich. Scoti *Expositio in sphæra*. — Jac. Fabri Stapulensis *Annotat*. — Campani *Comp. s. tract. de sphæra*. — *De modo fabricandi sphæram solidam*. — Petri card. de Aliaco *XIV quæstiones*. — Roberti Linconiensis *Tractatus de sphæra*. — Bartholomei Vespulii *Gloss*. — Lucæ Gaurici *Castigat*. — Ejusdem *Num quid sub æquatore sit habitatio*. — Ejusdem *De inventoribus Astrologiæ*. — Alpetragii Arabi *Theor. planetarum*. — Venetiis, Luc. et Ant. Juntæ, 1531.

bien reconnaissable à la science d'Albert de Saxe, il se garde d'en nommer le légitime propriétaire. Albert de Saxe, en effet, a été au plus haut degré un de ces génies méconnus dont la pensée féconde nourrit pendant des siècles une science qui ne daigne pas prononcer leur nom.

Aux corollaires d'allure paradoxale qu'Albertutius a tirés de la sphéricité de la terre et des mers, Pierre d'Ailly en ajoute quelques-uns de son cru ; citons ceux-ci :

« Celui qui possède un champ voisin d'une autre pièce, et qui creuse sa terre en gardant à la cavité une section d'étendue invariable fait tort au propriétaire voisin.

» Si la Terre était coupée par une surface plane dont le milieu serait au centre du Monde et si l'on répandait de l'eau sur ce plan, cette eau tendrait à prendre la forme d'un hémisphère ayant pour centre le centre du Monde.

» En second lieu, si le fond d'un étang est plan, cet étang est assurément plus profond au milieu qu'au bord.

» En troisième lieu, le même vase contient plus de liquide en un lieu bas qu'en un lieu élevé. »

Ces aphorismes, dont le dernier est emprunté à Roger Bacon, étaient bien propres à frapper l'imagination ; ils eurent, comme ceux d'Albert de Saxe, grande vogue dans les écoles ; on les retrouve encore dans les écrits de maint auteur du XVIIe siècle.

Jean-Baptiste Capuano de Manfredonia (1) vivait, au dire de Tiraboschi, vers 1475 ; il était chanoine régulier de Saint-Augustin et s'adonnait à l'Astronomie. On possède de lui une *Exposition* du traité de Sacro-Bosco qui se rencontre, en général, dans les mêmes recueils que les *Questions* de Pierre d'Ailly.

Lorsqu'il énumère les raisons pour lesquelles l'eau ne couvre pas en entier la terre, Jean-Baptiste Capuano

(1) Dans certains recueils cosmographiques, on le nomme *Sipontinus*, de Siponte (Maria-Siponto). Parfois, au lieu de *Giovanni Baptista*, il porte comme prénom *Francesco* (Voir, à ce sujet : Riccardi, *Biblioteca matematica italiana*, Part. I, t. I, col. 238-240 ; Modena, 1870).

cite, en premier lieu, celle-ci, où nous reconnaissons la théorie favorite d'Albert de Saxe : « La terre n'est point, en son entier, d'une gravité uniforme ; elle est, d'une part, plus lourde que de l'autre ; cela tient à ce qu'une de ses parties est plus dense, plus épaisse, exempte de pores et de cavernes, tandis que l'autre est poreuse et pleine de cavités ; le centre de grandeur ne coïncide donc pas avec le centre de gravité ; dès lors, la partie la plus légère, qui est beaucoup plus éloignée du centre du Monde, émerge hors des eaux et demeure découverte. »

Jean-Baptiste Capuano a, du reste, fort mal compris le raisonnement qu'il reproduit, car il y fait l'objection suivante : « Il ne paraît pas vraisemblable que la terre, en la région qui demeure découverte, soit assez légère pour émerger hors de l'eau. » Chose plus curieuse, notre auteur écrit : « Cette explication est attribuée à Campanus. » Cette attribution à Campanus d'une doctrine dont il n'a jamais soufflé mot, et qui appartient en entier à Albert de Saxe, nous l'avons déjà rencontrée dans les *Quæstiones subtilissimæ in libros Physicorum* de Jean Marsile d'Inghen. Avec une persistance dont la raison nous échappe, les scolastiques qui empruntent les doctrines d'Albert de Saxe ont grand soin, en général, de taire son nom ; qui plus est, ils remplacent parfois ce nom par celui d'un auteur qui n'a rien à faire avec ces doctrines.

Jean-Baptiste Capuano attribue donc à Campanus une théorie qui est d'Albertutius ; faut-il penser qu'il n'a point lu ce dernier auteur et qu'il connaît ses idées par une tradition anonyme ? Comment pourrait-on le croire lorsqu'on rapproche des *Questions* d'Albert de Saxe ce passage de Capuano :

« La Terre se meut sans cesse d'un mouvement rectiligne... On en donne la preuve en même temps que la raison et la cause. La terre, du côté qui n'est point couvert par les eaux, est sans cesse subtilisée par les rayons du Soleil et la chaleur des étoiles ; elle se réduit

en vapeurs et se consume ; cela est certain et par l'expérience, et par le premier livre des *Météores* ; en effet, toutes les exhalaisons qui s'élèvent de la terre proviennent de cette partie découverte. Mais, sur l'autre côté, qui est recouvert par les eaux, l'intensité du froid condense l'eau du fond de la mer et la change en terre ; en même temps, comme cette région est la plus basse de toutes, tous les graves qui sont dans la mer y descendent ; la terre augmente donc sans cesse de ce côté et sa gravité croît. Puis donc que, d'un côté, quelque portion de la terre se consume sans cesse, tandis que, de l'autre côté, il se fait un continuel apport, le centre de gravité de la terre change de place. La moitié couverte par les eaux, devenue plus lourde que la moitié découverte, descend, se rapproche du centre, et pousse l'autre moitié. Le centre du Monde ne demeure donc point en la même région de la terre ; la partie de la terre qui, primitivement, était au centre, devient plus voisine de la surface ; et ce déplacement continue jusqu'à ce que cette partie vienne à la surface même. »

Les *Questions* d'Albert de Saxe étaient donc très souvent lues, très profondément méditées, mais très rarement citées par les hommes de science à la fin du XIVe siècle et pendant toute la durée du XVe siècle ; il en était de même à la fin du XVe siècle et au début du siècle suivant. Augustin Nipho (1473-1538) emprunte à Albertus de Saxonia toute sa théorie de la gravité ; c'est en vertu de cette théorie qu'il écrit (1) le passage suivant : « Que l'eau soit en repos ou en mouvement, elle n'est point *deorsum in respectu* tant que sa surface n'est pas équidistante du centre ; c'est seulement lorsque cette condition est satisfaite que l'air constitue son lieu naturel ; la terre n'est point *deorsum simpliciter* tant que son centre de gravité

(1) Augustini Niphi philosophi Suessani *Expositiones super octo Aristotelis Stagiritae libros de physico Auditu*... Venetiis, apud Hieronymum Scotum, MDLVIII. Physicorum liber quartus, p. 307.

ne coïncide pas simplement avec le centre du monde. L'eau ne formera donc le lieu naturel de la terre qu'autant que la terre ainsi logée tiendra le milieu du monde. »

Pas plus que Nipho, Gaëtan de Tiène (1) ne nomme Albert de Saxe ; cependant, en ses commentaires à la Physique d'Aristote, il lui fait de nombreux et reconnaissables emprunts ; il mentionne, sans l'adopter, sa théorie du centre de la terre : « Certains imaginent, dit-il (2), que le centre de grandeur de la terre n'est point le centre du Monde ; en effet, la partie soumise à l'action du Soleil et des astres est très sèche et légère ; et comme le centre de gravité de la terre coïncide avec le centre du Monde, il s'ensuit que cette partie de la terre très sèche et légère est beaucoup plus haute que l'autre partie, où s'engendre une grande quantité d'eau ; il y a donc une partie de la terre qui est plus élevée que toute l'eau. » Gaëtan de Tiène mentionne également la théorie selon laquelle la terre et l'eau sont excentriques l'une à l'autre ; au dire de cette théorie, « l'eau, sauve de tout empêchement, tendrait non pas au centre du Monde, mais au centre de sa sphère ; en sorte que de l'eau que l'on placerait au centre du Monde sans que rien l'y retînt, monterait de mouvement naturel jusqu'au centre de sa propre sphère ». Mais Gaëtan attribue à tort cette théorie singulière à Campanus, qui n'a rien dit d'approchant ; elle est, nous le savons, l'œuvre de Nicolas de Lyre.

Alexandre Achillini, de Bologne (1463-1512), dans son livre sur les orbites célestes (3), fait à l'une des doctrines

(1) Gaëtan de Tiène, né à Vicence, enseigna la philosophie à Padoue ; il mourut en cette ville en 1465. Il ne le faut point confondre avec Gaëtan de Tiène, né à Vicence en 1480, mort en 1547 ; celui-ci fonda l'ordre des Théatins et fut canonisé. Il ne faut point non plus le confondre avec l'illustre cardinal Caietan (1469-1534).

(2) *Recollectæ* Gaietani *super octo libros Physicorum cum annotationibus textuum.* In fine : « Impressum est hoc Venetiis per Bonetum Locatellum, jussu et expensis nobilis viri Domini Octaviani Scoti civis Modoetiensis. Anno salutis 1496. » Lib. IV, quæstio I.

(3) Alexandri Achillini Bononiensis *Quatuor libri de Orbibus* ; Bononiæ,

d'Albert de Saxe une allusion fort nette : « Je pose en principe, dit-il, qu'il y a deux centres du Monde : un centre naturel, qui est l'élément de la terre, et un centre mathématique, savoir le point qui est le centre de gravité de la terre, si le centre de gravité diffère du centre de grandeur ; car celui-ci peut bien être appelé centre de la terre, mais non point centre du Monde. »

On n'en finirait point si l'on voulait relever toutes les traces des théories d'Albert de Saxe ; à la fin du xv[e] siècle, au début du xvi[e] siècle, il est presque impossible d'ouvrir un livre qui traite de la gravité, de l'immobilité de la Terre, de sa position dans l'Univers, des relations entre l'eau et la terre ferme, sans y reconnaître l'écho plus ou moins net, plus ou moins altéré, des enseignements qu'Albertutius donnait en Sorbonne au milieu du xiv[e] siècle.

Ne recueillons point toutes ces résonances ; bornons-nous à en signaler une dernière, parce que celle-là retentira longtemps encore, portée par la vogue extraordinaire de la *Perle philosophique* de Grégoire Reisch.

Grégoire Reisch était, à la fin du xv[e] siècle et au commencement du xvi[e] siècle, prieur d'une chartreuse près de Fribourg (1) ; sous ce titre : *Margarita philosophica totius philosophiæ rationalis, naturalis et moralis principia dialogice duodecim libris doctissime complectens*, il composa en 1496 (2) une sorte de petite encyclopédie philosophique, rédigée sous forme de dialogues.

impensis Benedicti Hectoris Bononiensis, MCCCCLXXXXVIII ; Liber primus, dubium tertium. — Alexandri Achillini Bononiensis, philosophi celeberrimi, *Opera omnia, in unum collecta*,... omnia post primas editiones nunc primum emendatiora in lucem prodeunt. Venetiis, apud Hieronymum Scotum, MDXLV ; p. 29.

(1) Sbaralea (*Supplementum scriptorum Franciscanorum*, pp. 312-313) et, d'après lui, U. Chevalier (*Répertoire des Sources historiques du moyen âge ; Bio-bibliographie*, col. 927) font de Grégoire Reisch un franciscain. Brunet (*Manuel du libraire et de l'amateur de livres*, Paris, 1863, t. IV, col. 1200) lui attribue, par erreur, le prénom de Georges.

(2) Panzer, dans les Annales typographiques, et Hain, dans son *Repertorium*, ont cité une édition, sans date ni lieu d'édition, où l'ouvrage même porte la mention : *Ex Heidelberga, III kal. Januarii* 1496.

Cet ouvrage qui, sous un petit volume, réunissait des connaissances si variées, se répandit extrêmement ; pendant tout le XVIe siècle, les éditions se succédèrent, nombreuses (1) ; au moment même où le XVIIe siècle allait commencer, Jean-Paul Galluci en donna une traduction en italien (2). Le livre VII est consacré aux principes de l'Astronomie ; au chapitre XLII du premier traité, l'auteur examine la disposition de l'eau par rapport à la terre ferme ; au sujet de cette disposition, il émet une opinion étrange et qui, cependant, aura bien des partisans au cours du XVIe siècle ; il attribue à la surface des mers la figure d'une sphère, à la terre ferme celle d'une sphère plus petite ; il suppose que cette seconde sphère est contenue en entier à l'intérieur de la première, sauf en un point où elle la touche.

Cette opinion invraisemblable, Grégoire Reisch l'appuie de considérations où nous reconnaissons sans peine un résumé grossier et peu exact des théories d'Albert de Saxe. « La substance de la terre et de l'eau, dit-il, forme un seul corps sphérique ; les philosophes lui ont attribué deux centres, savoir le centre de gravité et le centre de grandeur. Le centre de grandeur divise en deux parties égales l'axe de symétrie de la figure formée par l'ensemble de la terre et de l'eau ; il est le centre du Monde. Quant au centre de gravité, il est en dehors du précédent ; il se trouve sur le diamètre de la sphère terrestre ; celui-ci surpasse nécessairement la moitié du diamètre de la sphère

(1) Outre l'édition que nous venons de citer, Brunet *(loc. cit.)* mentionne les éditions de Fribourg en 1503, de Strasbourg en 1504, 1508, 1512, 1515, de Bâle en 1534 et 1583 ; celle que nous avons consultée à la Bibliothèque municipale de Bordeaux est de Joannes Schottus, Basileæ, 1517.

(2) *Margarita filosofica* del R. P. F. Gregorio Reisch, nella quale si trattono tutte le dottrine comprese nella ciclopedia, accresciuta di molte belle dottrine da Orontio Fineo matematico Regio. Di novo tradotta in Italiano da Gio. Paolo Galluci Salodiano, Accademico Veneto, et accresciuta di molte cose. In Vinegia, 1599 ; presso Barezzo Barezzi e Compagni. — Cette même édition, dont le frontispice seul avait été changé, était également vendue : In Venetia, MDC ; appresso Jacomo Antonio Somascho.

que forme l'ensemble de l'eau et de la terre ; sinon, le centre du Monde ne se trouverait pas au sein de la terre ; et l'on ne pourrait guère, en Physique ni en Astronomie, rien dire de plus absurde que cela.

» Il est nécessaire de distinguer entre les deux centres, parce que la terre émergée est plus légère que la terre submergée. Lorsqu'une partie de la terre émerge, elle est d'abord humide; mais bientôt elle se dessèche et s'allège. Le centre de gravité de la terre ne saurait donc coïncider avec son centre de grandeur ; placé sur le diamètre de la terre, ce centre de gravité tend sans cesse à se rapprocher de la partie de la surface terrestre que les eaux recouvrent. D'autre part, les eaux coulent sans cesse vers cette partie, car elle est la plus proche du centre du Monde. Il en résulte que la Terre est animée d'un mouvement local incessant, car les parties les plus éloignées du centre de gravité tendent à se placer à la même distance que les autres. Mais le tout est limité par une seule surface convexe et l'eau n'inonde pas la surface de la terre... »

Cette conclusion, il faut bien l'avouer, ne semble guère compatible avec la disposition que Grégoire Reisch attribue à l'eau et à la terre ; Giuntini (1) en a très justement fait la remarque. En vérité, l'hypothèse de Grégoire Reisch est criante d'absurdité ; cependant les doctrines géodésiques du XVI[e] siècle en subiront la profonde et durable influence.

6. *La tradition d'Albert de Saxe et Léonard de Vinci*

La tradition d'Albert de Saxe était donc très vivante, au début du XVI[e] siècle, parmi les docteurs de la Scolastique ; mais elle n'avait pas moins d'influence sur la pensée de ceux qui vivaient en dehors de l'École ; parmi

(1) Fr. Junctini Florentini, sacræ theologiæ doctoris, *Commentaria in Sphæram Joannis de Sacro-Bosco accuratissima* ; Lugduni, apud Philippum Tinghium, MDLXXVIII, p. 178.

ceux-ci, nul peut-être n'a plus emprunté au vieux maître en Sorbonne que Léonard de Vinci (1).

Parmi les manuscrits de Léonard de Vinci que conserve la Bibliothèque de l'Institut, l'un des plus importants est le cahier que Venturi a marqué de la lettre *F*. D'après une indication qui figure au recto du premier feuillet, ce cahier fut commencé à Milan le 12 septembre 1508.

Au verso de la couverture, se trouve une liste de livres et d'objets appartenant sans doute à Léonard. Parmi les titres de livres, nous lisons : *Archimède, de centro gravitatis*. Nous lisons aussi :

« *Albertucco elmarliano decalculatione.*

» *Alberto decelo et mundo, da fra bernardino.* »

M. Ravaisson-Mollien (2) traduit ainsi ces deux lignes :

« Albertucco et Marliano, de calculatione.

» Albert, de Cœlo et Mundo, par fra Bernardino. »

Quels sont les ouvrages dont ces quelques lignes nous révèlent la présence entre les mains de Léonard ?

Une note de M. Ravaisson-Mollien nous rappelle que Marliano, premier médecin de Jean Galeasz Sforza, mort à Milan en 1483, avait composé un écrit intitulé : *De proportione motuum in velocitate*. Le sujet de cet écrit a rapport à certaines questions touchées par Léonard au cours du cahier *F* ; il est donc raisonnable de croire que l'ouvrage auquel Léonard fait allusion est bien celui qu'indique M. Ravaisson-Mollien.

Mais comment faut-il interpréter le nom d'*Albertucco*, qui précède la mention de cet ouvrage ? M. Ravaisson-Mollien propose, avec un point de doute, la traduction : Leone-Battista Alberti. M. Eug. Müntz (3) admet, en effet, que cette indication se rapporte à Alberti.

(1) Cf. P. Duhem, *Albert de Saxe et Léonard de Vinci* (Bulletin italien, t. V, p. 1 et p. 113 ; 1905).

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. F. de la Bibliothèque de l'Institut. Paris, 1889.

(3) Eug. Müntz, *Léonard de Vinci, l'artiste, le penseur, le savant*, p. 308 (en note) ; Paris, 1899.

De prime abord, une remarque rend douteuse cette interprétation : Léonard cite Alberti en d'autres passages (1) ; il ne le nomme point *Albertucco*, mais Battista Alberti.

A la table des matières du cahier *F*, au mot Albertuccius, M. Ch. Ravaisson-Mollien écrit : « Mon frère Louis Ravaisson-Mollien, de la Bibliothèque Mazarine, me fait remarquer qu'un des deux Albert de Saxe, franciscain du XVe siècle, fut appelé Albertuccius. » Cette note nous indique la véritable interprétation du mot *Albertucco* écrit par Léonard sur la couverture du cahier *F* ; ce mot désigne non pas Leone-Battista Alberti, mais Albert de Saxe, si souvent nommé, au XVIe siècle, *Albertutius* ou *Albertuccius*.

Et, en effet, la seconde partie du *Tractatus proportionum* d'Albert de Saxe, si souvent imprimé à la fin du XVe siècle et au commencement du XVIe siècle, est intitulée : *Tractatus de proportione velocitatum in motibus* (2). Il semble donc tout naturel que Léonard ait rapproché cet écrit de celui de Marliano.

Qu'est-ce que Léonard a emprunté au *Tractatus proportionum* d'Albertutius et au Traité *De proportione motuum in velocitate* de Marliano ? Sans doute, ces propositions (3) qui, toutes, découlent du vieil axiome péripatéticien : La vitesse d'un mobile est proportionnelle à la force qui meut ce mobile. A cet égard, il semble, au premier abord, bien difficile d'émettre une affirmation formelle ; développées par tous les commentateurs d'Aristote, depuis Alexandre d'Aphrodisias et Simplicius, ces propositions étaient

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. F, fol. 82, recto ; Ms. G, fol. 54, recto.

(2) B. Boncompagni, *Intorno ad un comento di Benedetto Vittori, medico Faentino, al* TRACTATUS PROPORTIONUM *di Alberto di Sassonia* (BULLETINO DI BIBLIOGRAFIA E DI STORIA DELLE SCIENZE MATEMATICHE E FISICHE, t. IV, p. 493 ; 1871).

(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 26, recto, et fol. 51, verso. Ces fragments ont été reproduits en note au Chapitre II.

du domaine commun. Heureusement, pour fixer notre opinion à cet égard, nous avons l'aveu formel de Léonard ; en un cahier qui paraît postérieur au cahier *F*, Léonard écrit (1) : « Albert de Saxe dit, dans son *De proportione*, que si une puissance meut un mobile avec une certaine vitesse, elle mouvra la moitié de ce mobile du double plus vite. Il ne me paraît pas, à moi, ainsi ;... »

Nous savons maintenant, d'une manière très exacte, ce que signifiait l'indication *Albertucco*, écrite par Léonard sur la couverture du cahier *F*. Que signifie cette autre : *Albert*, *de Cœlo et Mundo* ? M. Ravaisson-Mollien la regarde comme se rapportant à Albert le Grand. Mais rien, dans les notes que renferme le cahier *F*, ne rappelle les théories physiques de Maître Albert ; on y peut reconnaitre, au contraire, des emprunts aux *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo* composées par Albert de Saxe ; c'est donc sûrement cet écrit que Léonard avait en mains et qu'il a entendu mentionner en écrivant : *Alberto decelo e mundo*.

Nous avons relevé ailleurs (2) quelques-unes des traces les plus nettes de l'influence exercée par Albert de Saxe sur Léonard de Vinci ; parmi ces traces, nous reprendrons seulement ici celles qui concernent la théorie du centre de gravité ; elles suffiront amplement à prouver au lecteur que Léonard avait lu et médité les doctrines du vieux maître en Sorbonne.

Voici un premier fragment (3) où Léonard reproduit la distinction essentielle entre le centre de grandeur et le centre de gravité, distinction sur laquelle repose toute la théorie d'Albert de Saxe :

« *Du centre du grave*. Tout corps non uniforme a trois centres, c'est-à-dire de la grandeur, de la gravité acciden-

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. I, fol. 120 (72), recto.

(2) P. Duhem, *Albert de Saxe et Léonard de Vinci* (BULLETIN ITALIEN, t. V, p. 1 et p. 113, 1905).

(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 54, recto.

telle (1) et de la gravité naturelle ; mais si on incorporait le centre du Monde, il manquerait le centre de la gravité accidentelle.

» Des corps non uniformes qui ont un centre de grandeur et un centre de gravité ; et l'on ne pourra recevoir le centre du Monde sinon dans le centre de gravité et celui de la grandeur restera à part. »

Dans cet autre fragment (2), Léonard montre, suivant l'avis d'Albert de Saxe, comment le centre de gravité de la Terre subit de perpétuels changements de lieu :

« Parce que le centre de la gravité naturelle de la Terre doit être au centre du Monde, la Terre va toujours en s'allégeant en quelque partie, et la partie allégée pousse en haut, et submerge autant de la partie opposée qu'il en faut pour qu'elle joigne le centre de la susdite gravité au centre du Monde.

» Où le Soleil est droit au-dessus, la terre s'allège ; couverte par l'air, les eaux et la neige lui ont manqué ; du côté opposé, les pluies et les neiges alourdissent la terre, la poussent vers le centre du Monde et éloignent de ce centre les parties allégées ; ainsi la sphère de l'eau conserve l'égalité du centre de sa sphère, mais non de la gravité. »

Albertutius avait montré comment, par le jeu même de la pesanteur, la Terre tendait constamment à la sphéricité. Léonard reprend (3) les mêmes considérations :

(1) Il me paraît facile de deviner ce que Léonard entend par centre de la gravité accidentelle ; la *gravité accidentelle* désigne, pour beaucoup de scolastiques, ce que Léonard nomme généralement *impeto* ; cette notion confuse correspond, plus ou moins exactement, à nos idées modernes de *vitesse acquise*, de *quantité de mouvement* et de *force vive* ; de même que, pour Léonard, la *gravité naturelle* a son siège en un point, le *centre de gravité naturelle*, de même la gravité accidentelle est condensée au *centre de gravité accidentelle*. Si le grave *incorpore* le centre du Monde, il y demeure en repos, et la gravité accidentelle disparaît avec son centre.— Voir, à ce sujet, notre étude sur *Bernardino Baldi, Roberval et Descartes* qui paraîtra prochainement dans le BULLETIN ITALIEN.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 70, recto.

(3) *Ibid.*, fol. 84, recto.

« *Du monde.* Tout grave tend en bas, et les choses hautes ne resteront pas à leur hauteur, mais avec le temps, elles descendront toutes et ainsi, avec le temps, le Monde restera sphérique et, par conséquent, sera tout couvert d'eau. »

Albert avait reculé devant cette conséquence ; il s'était efforcé d'expliquer comment une terre ferme émergerait toujours hors des eaux ; il avait écrit (1), il est vrai : « Omne grave tendit deorsum nec perpetuo potest sic sursum sustineri, quare jam totalis terra esset facta sphaerica et undique aquis cooperta. » Mais cette phrase se trouvait parmi les propositions à réfuter. Plus audacieux, Léonard n'hésite pas à annoncer que le jeu même de la gravité tend à l'inondation totale de l'Univers ; non seulement, il reproduit textuellement (2) l'énoncé latin de la proposition qu'Albert de Saxe avait formulée pour la réfuter : « Omne grave tendit deorsum nec perpetuo potest sic sursum sustineri, quare jam totalis terra esset facta sphaerica » ; mais il revient avec instance sur cette prophétie :

« Si la Terre était sphérique (3), aucune partie n'en serait découverte par la sphère de l'eau... Perpétuels sont les bas lieux du fond de la mer, et les cimes des monts sont le contraire; il suit que la Terre se fera sphérique et toute couverte des eaux, et sera inhabitable. »

Ce passage, comme mainte autre réflexion inspirée par Albert de Saxe, se retrouve dans le *Traité du mouvement et de la mesure de l'eau*, dont une copie manuscrite, conservée à Rome, à la Bibliothèque Barberini, a été publiée (4) par Francesco Cardinali en 1826 ; il forme, dans le *Traité de l'eau*, le chapitre XXV du livre I.

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo*; in librum II quæstio XXVIII (Ed. 1492) vel XXVI (Éd. 1518).

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 84, recto.

(3) *Ibid.*, fol. 52, verso.

(4) Leonardo da Vinci, *Del moto e misura dell' acqua ;* inséré dans : *Raccolta d'autori Italiani che trattano del moto dell' acqua ;* edizione quarta, arrichita di molte cose inedite e d'alcuni schiarimenti. Tomo X, pp. 271-450. Bologna, 1826.

Dans ce continuel travail de la gravité qui, perpétuellement, tend à arrondir la terre ferme, l'érosion produite par les eaux des fleuves joue un rôle essentiel ; Albert de Saxe nous a signalé ce rôle ; il nous a montré également comment l'érosion avait sculpté le relief du sol. Léonard reprend ces considérations, mais il les expose (1) en ingénieur habitué à l'observation minutieuse des phénomènes produits par les eaux courantes :

« Si la terre des antipodes qui soutient l'océan s'élevait et se découvrait beaucoup hors de cette mer, étant presque plane, de quelle façon pourraient se créer avec le temps les monts et les vallées, et les pierres des diverses couches ?

» La fange ou sable, d'où l'eau s'écoule, quand elle reste découverte par les inondations des fleuves, nous enseigne ce qui se demande ci-dessus.

» L'eau qui s'écoulerait de la terre découverte par la mer, quand cette terre s'élèverait beaucoup au-dessus de la mer, bien qu'elle fût presque plane, commencerait à faire divers ruisseaux pour les parties plus basses de cette surface, et ceux-ci, commençant ainsi à se creuser, se feraient réceptacles des autres eaux environnantes ; de cette façon, ils acquerraient, dans toute partie de leur longueur, de la largeur et de la profondeur, leurs eaux croissant toujours jusqu'à ce que toute cette eau se soit écoulée ; et ces concavités seraient ensuite les cours des torrents qui reçoivent les eaux des pluies ; et ainsi elles iraient consumant les berges de ces fleuves jusqu'à ce que les terres qui les séparent les uns des autres se fissent monts aigus et que, l'eau s'écoulant, ces collines commençassent à se sécher et à créer les pierres en couches plus ou moins grandes selon les épaisseurs des fanges que les fleuves auraient portées dans la mer avec leurs déluges. »

Albert admet, au moins dans ses *Questions* sur le *De*

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 11, verso.

Cœlo, que c'est le centre de gravité de la terre ferme qui occupe le centre du Monde ; la présence de l'eau en certaines parties de la surface qui termine la terre solide, son absence en d'autres parties de cette même surface ne sauraient déranger ce centre de gravité. Léonard de Vinci a-t-il admis cette doctrine ?

Léonard connait le principe sur lequel elle repose ; il l'énonce (1) en résumant Albert de Saxe : « Aucun élément simple n'a de légèreté ni de gravité dans sa propre sphère, et si la vessie pleine d'air pèse plus aux balances qu'étant vide, c'est parce que cet air est condensé ; et le feu pourrait se condenser de telle façon qu'il serait plus lourd que l'air ou égal à l'air, et peut-être plus lourd que l'eau et devenant égal à la terre. »

Mais de ce qu'il a connu cette théorie, il n'en résulte pas qu'il l'ait adoptée ; en tout cas, il n'a pas admis sans conteste le corollaire qu'Albertutius en avait prétendu tirer.

La modification qu'il semble disposé à apporter à ce corollaire est, d'ailleurs, bien singulière ; il pense que l'eau n'alourdit pas la partie du globe qu'elle recouvre, mais au contraire l'allège ; il regarde cette proposition comme une conséquence du principe d'Archimède. Voici le passage (2) où se trouve exprimée cette étrange opinion :

« *Si la terre couverte par la sphère de l'eau est plus ou moins grave qu'étant découverte.* Je réponds que ce grave pèse plus qui est en milieu plus léger. Donc la terre qui est couverte par l'air est plus grave que celle qui est couverte par l'eau... »

Deux petits croquis représentent chacun une pyramide, en partie immergée dans une sphère liquide, en partie émergée ; à côté de ces croquis, on lit : « Je dis que le

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms, F, fol. 69, verso.

(2) *Ibid.*, recto. — Cf. *Del moto e misura dell' acqua*, libro I, capitolo XXIII.

centre de gravité de la pyramide étant placé au centre du Monde, cette pyramide changera de centre de gravité si elle est ensuite en partie couverte par la sphère de l'eau ; et donnes-en exemple avec deux poids cylindriques égaux et semblables dont l'un soit à moitié dans l'eau et l'autre tout dans cette eau. Je dis que celui qui reste à moitié hors de l'eau est plus grave, comme il est prouvé. »

A une théorie formellement contraire aux lois de l'Hydrostatique, Léonard de Vinci en a substitué une autre qui ne s'accorde pas mieux avec les principes de cette science.

Cependant, c'est, semble-t-il, à cette occasion que Léonard fit une découverte qui donne une idée favorable de son talent de géomètre.

La théorie de la pesanteur développée par Albert de Saxe faisait un constant appel à la considération du centre de gravité des solides ; mais la recherche de tels centres de gravité n'avait presque jamais sollicité les efforts des géomètres. Dans ses immortels ouvrages, Archimède avait seulement enseigné comment on peut déterminer le centre de pesanteur de figures planes ; assurément, ses recherches sur les corps flottants nous montrent qu'il connaissait le centre de gravité du paraboloïde de révolution, mais le procédé par lequel il l'avait obtenu ne nous a pas été transmis. Pappus, tout en donnant la définition du centre de gravité pour des corps à trois dimensions, n'a ensuite traité de ce point qu'en des figures planes. C'est seulement au milieu du XVI[e] siècle que les travaux de Maurolycus et de Commandin ont inauguré l'étude du centre de gravité des solides.

Or Léonard de Vinci avait, d'un demi-siècle, précédé Maurolycus et Commandin, comme en témoigne cette courte note (1) :

« Le centre de toute gravité pyramidale est dans le

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 51, recto.

quart de son axe, vers la base ; et si tu divises l'axe en 4 [parties] égales et que tu entrecoupes deux des axes de cette pyramide, une telle intersection aboutira au susdit quart. »

Quelle démonstration avait fourni à Léonard ce beau théorème, que Maurolycus devait retrouver seulement en 1548 ? Nous en sommes réduits sur ce point aux conjectures que nous suggèrent les figures jointes à l'énoncé.

Libri a écrit (1), avec son inexactitude habituelle : « La figure qui accompagne sa note prouve que Léonard décomposait les pyramides en plans parallèles à la base, comme on le fait à présent. » En réalité, les *deux figures* dessinées par Léonard ne portent aucune trace de cette décomposition ; Léonard, en chacune d'elles, a simplement tracé les médianes des diverses faces du tétraèdre et les lignes qui joignent chaque sommet au point de concours des médianes de la face opposée. Par une démonstration que nous ignorons, il prouvait sans doute que le centre de gravité du solide se trouve sur la ligne joignant un sommet au centre de gravité de la face opposée ; le centre de pesanteur du tétraèdre se trouvait dès lors au point de concours des quatre lignes analogues, issues des quatre sommets.

Il n'est pas douteux que ce problème de géométrie ne se soit présenté à l'esprit de Léonard à propos de la théorie de la pesanteur donnée par Albert de Saxe ; nous avons vu, en effet, qu'au moment de discuter la doctrine de cet auteur, touchant les relations de la sphère solide, de son centre de gravité et de la sphère des eaux, Léonard de Vinci considérait un ensemble analogue où la terre ferme était précisément remplacée par une pyramide ; Marsile d'Inghen avait, de même, imaginé un clou.

D'ailleurs, parmi les questions qu'Albert de Saxe a

(1) Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, t. III, p. 41 ; 1840.

examinées, il en est peu qui aient, autant que la théorie de la figure de la terre et des mers, sollicité l'attention de Léonard ; cela se conçoit aisément ; le grand artiste était, en même temps, le plus savant ingénieur hydraulicien de son époque ; rien de ce qui touche à l'équilibre et au mouvement des eaux naturelles ne le pouvait laisser indifférent.

Dans ce cahier *F*, où sont consignées au jour le jour les réflexions que lui a suggérées la lecture d'Albert de Saxe, il consacre (1) tout un feuillet à répéter, sous des formes variées, l'argument d'Aristote et d'Adraste en faveur de la figure sphérique des mers :

« *Preuve que la sphère de l'eau est parfaitement ronde.* L'eau ne se meut pas d'elle-même si elle ne descend pas, et se mouvant d'elle-même, il suit qu'elle descend.

» *Aucune partie de la sphère de l'eau ne peut se mouvoir par elle-même, car elle est entourée d'eau d'égale hauteur qui l'enferme et elle ne la peut surpasser par aucun côté.* On en montre la preuve ici en marge. » Léonard dessine, en effet, une circonférence de cercle sur laquelle il marque un point *c* entre deux autres points *a* et *b* ; puis il ajoute : « Soit *c* une quantité d'eau entourée et enfermée par l'eau *ab* ; je dis, par les conclusions passées, que l'eau *c* ne se mouvra pas, parce qu'elle ne trouve pas de descente, selon la définition du cercle ; puisque *a* et *b* sont éloignés du centre du Monde comme *c*, il suit que *c* reste immobile. »

Les passages que nous venons de citer reflètent peut-être les considérations de Pline l'Ancien (2) ; ceux qui suivent (3) ont une plus grande analogie avec l'exposition d'Adraste, rapportée par Théon de Smyrne :

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 82, verso. — Cf. *Del moto e misura dell' acqua*, libro I, capitolo V.

(2) Le *Codice Atlantico* renferme une liste des livres que possédait Léonard ; on y voit figurer un Pline (Cf. E. Müntz, *Léonard de Vinci, l'artiste, le penseur, le savant*, p. 282).

(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, loc. cit. — Cf. *Del moto e misura dell' acqua*, libro I, capp. VI, VII et VIII.

« Donné un plan d'eau, à la surface de la sphère de l'eau, les extrémités de ce plan s'en iront en son milieu.

» Le grave sphérique, placé à l'extrémité du plan parfait (fig. 96), ne s'arrêtera pas, mais s'en ira tout de suite au milieu du plan. »

Les pensées esquissées en ce feuillet sont fréquemment reprises par Léonard. La première forme donnée à la preuve de la sphéricité des mers, celle qui paraît refléter

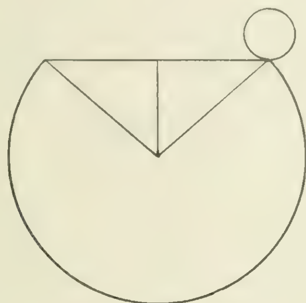


fig. 96.

le raisonnement de Pline, se retrouve, plus développée, dans le fragment suivant (1) :

« Tout élément flexible et liquide a, par nécessité, sa surface sphérique. On le prouve avec la sphère de l'eau, mais d'abord il faut poser quelques conceptions et conclusions.

» Cette chose est plus haute qui est plus éloignée du centre du Monde, et celle-là est plus basse qui est plus voisine de ce centre. L'eau ne se meut pas de soi si elle ne descend pas, et se mouvant, elle descend. Que ces quatre conceptions, placées deux à deux, me servent à prouver que l'eau qui ne se meut pas de soi a sa surface équidistante du centre du Monde (en ne parlant pas des

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 27, recto, et fol. 26, verso. — Cf. *Del moto e misura dell' acqua*, libro I, capitolo IV.

gouttes ou autres petites quantités qui s'attirent l'une l'autre, comme l'acier sa limaille, mais des grandes quantités).

« Je dis qu'aucune partie de la surface de l'eau ne se meut de soi-même, si elle ne descend pas ; donc la sphère de l'eau n'ayant en aucune partie de surface à pouvoir descendre, il est nécessaire par la première conception qu'elle ne se meuve pas d'elle-même. Et si tu considères bien toute minime particule de cette surface, tu la trouveras entourée d'autres particules semblables, qui sont à égales distances entre elles du centre du Monde, et à cette même distance est cette particule qu'entourent les autres ; donc, par la troisième conception, la particule de l'eau ne se mouvra pas d'elle-même parce qu'elle est entourée de bords d'égales hauteurs. Ainsi chaque cercle de telles particules se fait vase pour la particule que contient ce cercle, vase qui a le circuit de ses bords de hauteur égale ; ainsi est cette particule par rapport aux autres particules semblables qui composent la surface de la sphère de l'eau. Nécessairement, elle sera par elle-même sans mouvement ; et, par conséquent, chacune étant à égale hauteur du centre du Monde, nécessité fait que cette surface est sphérique... »

Ce n'est plus l'influence de Pline, mais celle d'Adraste et de Théon, perçue au travers des *Questions* d'Albert de Saxe, que nous reconnaissons en ce passage (1) :

« Si la terre était sphérique, aucune partie n'en serait découverte par la sphère de l'eau. »

Celui-ci (2) semble immédiatement emprunté à Pierre d'Ailly :

« Il ne se trouvera pas de terre plane sur laquelle l'eau ne soit pas de figure convexe, et réunie au milieu de cette surface plane ; et cette eau n'aura jamais de mouve-

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 52, verso.
(2) *Ibid.*

ment vers les extrémités de cette plaine. Donc sur une surface parfaitement plane, il peut y avoir de l'eau de diverses profondeurs. »

Une figure (fig. 97) représente un plan qui coupe une partie de la sphère terrestre ; sur ce plan, une masse d'eau est posée, que termine une calotte sphérique concentrique à la Terre. Au-dessous de cette figure, Léonard écrit : « Ce qui paraît ici plan est mont escarpé. » Puis il continue en ces termes :

« Il est impossible de trouver aucune partie plane sur la surface de n'importe quelle grande étendue d'eau.

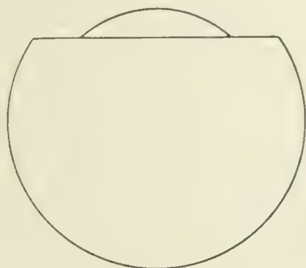


fig. 97.

» Perpétuels sont les bas lieux du fond de la mer, et les cimes des monts sont le contraire ; il suit que la Terre se fera sphérique et toute couverte des eaux, et sera inhabitable. »

Cette dernière phrase est textuellement traduite d'Albert de Saxe.

Albert de Saxe n'avait pas seulement reproduit les arguments d'Aristote et d'Adraste en faveur de la sphéricité de la Terre ; il y avait joint certains corollaires, de forme paradoxale, tirés de cette proposition ; ces corollaires, eux aussi, avaient attiré l'attention de Léonard de Vinci ; les réflexions qu'ils lui avaient suggérées remplissent tout un feuillet (1) de ses notes.

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 83, recto.

« L'homme qui chemine, dit Léonard, répétant ce qu'avait écrit Albert de Saxe, va plus vite avec la tête qu'avec les pieds.

» L'homme qui, cheminant, traverse tout un endroit plat, va penché, d'abord en avant, puis autant en arrière (1). »

Albert de Saxe avait remarqué que si l'on construisait deux tours au fil à plomb, les couronnements s'écarteraient d'autant plus que les deux tours seraient plus hautes. Léonard retourne, en quelque sorte, cette remarque. Il mène, en un certain lieu de la Terre, la verticale de ce lieu ; puis, de part et d'autre de ce lieu, à une certaine distance, il imagine qu'on élève deux tours parallèles à cette verticale et, par conséquent, parallèles entre elles. Il montre que ces deux tours devront forcément s'écrouler, si elles sont assez hautes. Le passage a une importance capitale ; reproduisons-le textuellement :

« *Si l'on fait deux tours en continuelle droiture, et que les espaces compris entre elles soient parallèles, il est sans doute que les deux tours s'écrouleront l'une contre l'autre, si la construction continue toujours avec une égale hauteur pour chacune des deux tours.*

» Soient (fig. 98) les deux verticales des deux points B et C, se continuant en continuelle droiture. Si elles coupent une de ces tours en CG et l'autre en BF, il suit que ces lignes ne passent pas par le centre de gravité de leur longueur ; donc KLGC, partie de l'une, pèse plus que son reste CGD et, de choses inégales, l'une l'emporte sur l'autre ; de sorte que, par nécessité, le plus grand poids de la tour entraînera toute la tour opposée ; et l'autre tour fera de même, à l'inverse de la première. »

Au-dessous du croquis que reproduit la fig. 98, Léonard trace un autre croquis, fort analogue, où les deux tours cylindriques sont remplacées par deux pyramides très

(1) C'est un lapsus. Il faudrait dire : « d'abord en arrière, puis autant en avant ».

élevées, et il écrit : « Les axes des deux pyramides étant parallèles, si elles sont de grande hauteur, elles tomberont l'une contre l'autre. »

En cherchant à présenter sous une forme un peu différente une conclusion d'Albert de Saxe, Léonard a fait usage de ce théorème que nul ne paraît avoir énoncé avant lui : Pour qu'un corps pesant, reposant sur le sol,

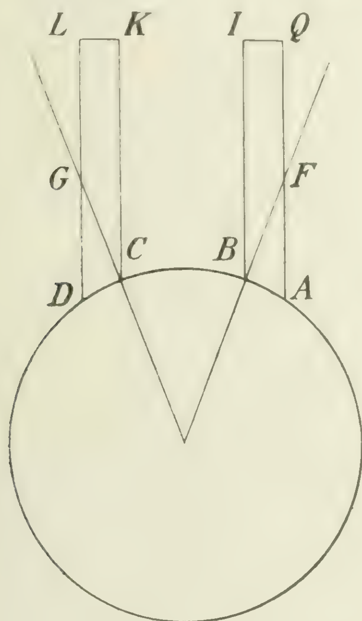


fig. 98.

demeure en équilibre, il faut et il suffit que le centre de gravité de ce corps ne se projette pas en dehors de sa base.

Léonard peut, à bon droit croyons-nous, être regardé comme l'inventeur de ce théorème ; mais, chose bien digne de remarque, ce théorème n'est vrai que si l'on attribue à la pesanteur, en tout point du corps, même grandeur et même direction ; cependant, Léonard le

découvre en traitant un problème où, non seulement, il tient compte de la convergence des verticales, mais où, qui plus est, il se propose de justifier une conséquence de cette convergence. Nous aurions souvent, au cours du présent Chapitre, à répéter une remarque semblable ; la plupart des propriétés mécaniques du centre de gravité ont été découvertes par des considérations où la convergence des verticales jouait un rôle essentiel ; et cependant, elles n'étaient exactes qu'à la condition de traiter les verticales comme parallèles.

Le théorème dont nous venons de parler a une grande importance ; les applications en sont innombrables ; dans le fragment que nous avons cité, Léonard en a fait seulement un usage bien spécial ; a-t-il entrevu toute la généralité de la proposition qu'il a découverte en ce cas si particulier ? On n'en saurait douter.

Léonard réclame sans cesse du peintre qu'il soit un esprit universel ; il l'était lui-même au plus haut degré. Il était universel, mais non pas à la façon de ces gens qui juxtaposent une foule de connaissances disparates entre lesquelles ils n'établissent aucun lien. Nul, au contraire, n'a senti plus vivement à quel point sont solidaires les unes des autres les diverses branches du savoir humain. Aussitôt qu'une vérité lui apparaissait en l'un des domaines où s'exerçait son activité intellectuelle, il apercevait le reflet de cette vérité en chacun des autres domaines qu'explorait son esprit. En même temps qu'il tire des *Questions* d'Albert de Saxe des pensées propres à composer le *Traité de l'Eau* qu'il a l'intention d'écrire, il jette sur les feuillets de son cahier de notes le brouillon de certains chapitres du *Traité de la Peinture* (1) ; ou bien encore il revient à l'étude du vol des oiseaux, sujet constant de ses méditations. Aussi, dès là que la démonstration de la sphéricité

(1) Comparez, par exemple, le Ms. F, fol. 1, verso, et le Chapitre XXIV du *Traité de la Peinture* (Édition de 1651).

des mers l'a amené à concevoir une propriété du centre de gravité, il en tire aussitôt des règles utiles au peintre qui veut donner à ses personnages une pose raisonnée ; ou bien encore il en déduit l'explication des diverses allures des oiseaux.

Nous avons déjà vu Léonard, commentant les corollaires d'Albert de Saxe, soucieux des applications que l'on en pourrait faire à la station de l'homme : « L'homme qui, cheminant, traverse tout un endroit plat, va penché d'abord en arrière, puis autant en avant. » Mais si l'on veut connaître toute la portée de ce théorème : Un grave reposant sur le sol ne peut être en équilibre lorsque son centre de gravité se projette en dehors de sa base ; si l'on désire savoir comment il explique les diverses postures de l'homme et des animaux, il nous faut abandonner le cahier *F*, que nous avons presque exclusivement étudié jusqu'ici, et feuilleter le cahier que Venturi a désigné par la lettre *A*.

Le cahier *A* est postérieur au cahier *F*. Léonard y corrige parfois certaines hypothèses qu'il avait émises au cahier *F* (1). Il n'est guère de question, traitée au cahier *F*, à laquelle Léonard ne revienne dans les notes qui composent le cahier *A*. En particulier, la théorie de la figure de la Terre et de la convergence des verticales, sur laquelle les *Quæstiones* d'Albert de Saxe ont appelé l'attention du grand peintre, sont l'objet de maintes réflexions dans le nouveau manuscrit.

En voici une (2) qui est presque la traduction littérale de l'une des conclusions d'Albertutius :

« Si tu fais une tour de 400 brasses et que tu la plombes avec des fils, elle te sera plus étroite du pied que de la tête, et formera un commencement de pyramide. »

(1) Voir P. Duhem, *Thémon, le fils du Juif et Léonard de Vinci* (Cet article paraîtra prochainement dans le BULLETIN ITALIEN).
(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 20, verso.

Léonard pense, d'ailleurs, qu'il serait possible de mesurer cette différence d'écart entre deux verticales au sommet et à la base d'une tour, et d'en déduire la longueur du rayon terrestre.

Parmi ces pensées, visiblement suggérées par la lecture d'Albert de Saxe, se trouvent des réflexions au sujet du rôle que le centre de gravité joue en Statique ; telle celle-ci (1) :

« Le corps sphérique parfait, placé sur un plan parfait, n'aura aucun mouvement (2) si tu ne lui en donnes pas. Et la raison en est que toutes ses parties sont à égale distance du centre ; par suite, il reste toujours en balance, et la balance qui a ses bras égaux de poids et de longueur reste sans mouvement ; si le dit corps sphérique a ses deux moitiés égales l'une à l'autre, il reste, lui aussi, sans mouvement. »

Léonard ne rattache pas seulement à la considération du centre de gravité certaines règles de Statique ; il veut également découvrir à ce point certaines propriétés dynamiques ; mais la Dynamique est trop peu avancée, au moment où il écrit, pour que ces dernières intuitions pressentent la vérité.

Lorsque le centre de gravité d'un corps posé sur le sol se projette hors de la base qui soutient ce corps, le grave cesse d'être en équilibre, il se meut, il tombe ; et il tombe précisément du côté où l'entraîne la partie la plus lourde, celle qui contient le centre de gravité. De cette remarque, vraie pour un grave sans vitesse initiale, Léonard prétend faire une loi générale du mouvement ; cette loi, il y fait de fréquentes allusions dans ses notes.

« Toute chose, dit-il (3), qui se trouve sur un sol plan

(1) Cette proposition paraît en contradiction avec celle que Léonard a formulée précédemment (Ms. F, fol. 82, verso). Ici, Léonard néglige la convergence des verticales dont, alors, il tenait compte.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. A, fol. 22, recto

(3) *Ibid.*, Ms. A, fol. 21, verso.

et parfait de telle sorte que son pôle ne se trouve pas entre des parties d'égal poids, ne s'arrête jamais ; un exemple s'en voit dans ceux qui glissent sur la glace et qui ne s'arrêtent jamais, si les parties ne deviennent pas équidistantes à leur centre.

» Tout grave (1) se meut du côté où il pèse le plus... La partie la plus lourde des corps qui se meuvent dans l'air se fait guide de leur mouvement.

» La partie la plus lourde (2) de tout corps mû sera guide de son mouvement. »

En insistant sur ces propriétés statiques ou dynamiques du centre de gravité, Léonard a pour principal objet l'explication des allures que prennent les êtres animés, soit qu'ils demeurent en repos, soit qu'ils se meuvent. Nous en avons pour témoins ces réflexions, insérées au cahier A (3), et dont la première résout un problème déjà posé dans les *Questions mécaniques* d'Aristote :

« Celui qui est assis ne peut pas se lever de son siège si la partie qui est en avant du pôle ne pèse pas plus que celle qui est en arrière de ce pôle, sans se servir de ses bras.

» Celui qui monte en un lieu quelconque doit donner une plus grande partie de son poids en avant de son pied le plus élevé qu'en arrière, c'est-à-dire en avant du pôle qu'en arrière du pôle ; donc l'homme donnera toujours une plus grande partie de son poids du côté vers lequel il désire se mouvoir qu'en aucun autre lieu.

» Celui qui court penche plus vers le lieu où il court et il donne plus de son poids en avant de son pôle qu'en arrière, de sorte que celui qui court en montant le fait sur les pointes des pieds, et celui qui court en plaine va d'abord sur les talons, et puis sur la pointe des pieds.

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. E de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 57, recto.

(2) *Ibid.*, Ms. H, fol. 115 [28] recto.

(3) *Ibid.*, Ms. A, fol. 28, verso.

» Celui-ci ne portera pas son poids, s'il ne fait pas équilibre au poids de devant en se renversant en arrière, de façon que toujours le pied qui pose se trouve au milieu du poids. »

Et Léonard poursuit en ébauchant (1) un des chapitres qui figureront au *Traité de la Peinture ;* nous y voyons que lorsqu'une « figure pose sur un pied, ce pied se fait centre du poids placé au-dessus ».

Ces considérations sur la posture des êtres animés, on les trouve, dans le cahier *A*, à côté de notes qui révèlent l'influence d'Albert de Saxe ; elles y ont la forme sommaire et imparfaite du premier jet. Pour les trouver plus parfaites et plus développées, il suffit que l'on consulte le *Traité de la Peinture*. Là, se rencontrent de multiples variantes de cette proposition (2) : « L'homme qui chemine aura le centre de sa pesanteur sur le centre de la jambe qui pose à terre » ; en sorte que « le poids de l'homme (3) qui se tient planté sur une de ses jambes seulement sera toujours esgalement partagé aux deux costez de la perpendiculaire ou ligne centrale qui le soustient. »

« Tousjours (4) la figure qui soustient le poids sur soy et sur la ligne centrale de la masse de son corps, doit jeter autant du poids naturel ou accidentel de l'autre côté opposite, qu'il en faudra pour parfaire le balancement du poids égal autour de la ligne centrale (5) qui part du centre de la partie du pied [du centre de pesanteur de l'homme] (6) qui porte la charge, et laquelle passe au travers de la masse entière du poids, et tombe sur cette

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. A, fol. 28, verso et fol. 29, recto.

(2) *Traité de la Peinture* de Léonard de Vinci, donné au public et traduit de l'italien en français par R. F. S. D. C. [Roland Fréart, sieur de Chambray] ; à Paris, de l'Imprimerie de Jacques Langlois, MDCLI ; ch. CCII, p. 66.

(3) Id., *ibid.*, ch. CCI, p. 66.

(4) Id., *ibid.*, ch. CCVI, p. 68.

(5) Ligne centrale = ligne qui va au centre de la Terre, verticale.

(6) La phrase de Léonard contient un lapsus évident ; nous avons rétabli le sens entre [ ].

partie du pied qui pose à terre. On voit ordinairement qu'un homme qui lève un fardeau avec un des bras estend naturellement au delà de soy son autre bras, et si cela ne suffit pas à faire contrepoids, il y met encore de son propre poids en courbant le corps autant qu'il faut pour estre bastant à soûtenir le fardeau dont il est chargé ; on voit encore que celuy qui s'en va tomber estend tousjours l'un de ses bras, et le porte vers la partie opposite. » — « Il faut ici (1) remarquer que le poids du corps de l'homme tire d'autant plus que le centre de la pesanteur est esloigné du centre de l'axe qui le soustient. »

On pourrait multiplier ces citations ; elles nous montreraient Léonard constamment préoccupé de la situation que le centre de gravité du corps occupe par rapport à la base qui le supporte.

La Bibliothèque Vaticane possède une copie fort complète du *Traité de la Peinture* ; les croquis qui ornent cette copie et qui sont, sans doute, de grossières imitations des dessins de Léonard, représentent des figures humaines en des postures variées ; toujours une ligne verticale les traverse, montrant que le centre de gravité se projette à l'intérieur de la surface par laquelle l'homme repose sur le sol. Cette ligne verticale a été conservée en quelques-uns des dessins que Nicolas Poussin exécuta pour l'édition italienne et l'édition française données en 1651.

Léonard de Vinci, au *Traité de la Peinture*, n'use point seulement des propriétés statiques du centre de gravité ; il invoque également et applique les propriétés dynamiques qu'il lui attribue, et qu'il énonce ainsi (2) :

« L'arrest ou la cessation du mouvement en un animal, lequel se tient sur ses pieds, vient de l'équation

(1) *Le Traité de la Peinture* de Léonard de Vinci, ch. CCVII, p. 68.
(2) Id., *ibid.*

ou privation de l'inégalité qu'ont entre eux les poids opposez, lesquels se soustiennent sur leurs propres poids.

» Tout mouvement (1) est produit par la rupture de l'équilibre, c'est-à-dire de l'égalité, parce qu'il n'y a aucune chose qui se meuve d'elle-mesme sans qu'elle sorte de son équilibre, et le mouvement est d'autant plus prompt et plus violent que la chose se retire d'avantage de son équilibre. »

Nous retrouvons ici la pensée que Léonard avait rapidement esquissée dans ses notes, et qu'il avait appliquée aux patineurs : Pour qu'un corps se meuve sur un plan horizontal, il faut que le centre de gravité de ce corps se projette en avant de la base ; et plus il se projette loin en avant de cette base, plus le mouvement est rapide.

C'est ce principe que Léonard invoque en l'étude « du mouvement des animaux et de leur course (2). La figure qui se montrera plus viste en sa course sera celle qui tombera d'avantage sur le devant. Le corps qui se meut soy-mesme aura d'autant plus de vistesse que le centre de sa pesanteur sera esloigné du centre de son soustien. »

C'est au vol des oiseaux que Léonard applique le plus volontiers les propriétés dynamiques qu'il attribue au centre de gravité : « *De la manière de s'équilibrer* », lisons-nous dans ses notes (3), « Toujours la partie la plus lourde des corps est celle qui se fait guide de leur mouvement. » De cette pensée, nous trouvons le développement dans le *Traité de la Peinture* (4) : « Cecy est dit principalement pour le mouvement des oyseaux lesquels, sans aucun battement d'aisles ou sans estre aidez du vent, se remuënt d'eux mesmes, et cela arrive quand le centre de leur pesenteur est hors du centre de leur soustien, c'est à dire hors

(1) *Le Traité de la Peinture* de Léonard de Vinci, ch. CCVIII, p. 69.

(2) Id., *ibid.*, ch. CCXCIX, p. 99.

(3) *I Manoscritti* di Leonardo da Vinci, *Codice sul volo degli ucelli*. Paris, 1893 ; fol. 16 [15], verso ; cf. fol. 4, verso.

(4) *Le Traité de la Peinture* de Léonard de Vinci, ch. CCXCIX, p. 99.

du milieu de l'estenduë de leur (*sic*) aisles ; parce que si le milieu des deux aisles est plus [en avant ou] en arrière que le milieu ou le centre de la pesanteur de tout l'oyseau, alors cet oyseau portera son mouvement en haut ou en bas, mais d'autant plus ou moins en haut ou en bas, que le centre de la pesanteur sera plus loin ou plus près du milieu des aisles ; c'est à dire que le centre de la pesanteur estant esloigné du milieu des aisles, il fait que la descente de l'oyseau est fort oblique, et si ce centre est voisin des aisles, la descente de l'oyseau aura peu d'obliquité. »

Les propriétés dynamiques attribuées par Léonard au centre de gravité lui ont fourni la première solution qu'il ait proposée du problème du plan incliné ; de cette solution, qu'il obtient par un procédé où l'on croit reconnaître l'influence de Pappus, il a donné plusieurs rédactions ; celle que nous avons relatée au chapitre II et celle que nous avons reproduite au chapitre V, § 3, se rencontrent au cahier *A*, tout à côté des artifices que Léonard imagine (1) pour déduire le rayon de la terre de l'obliquité des verticales, en la page même (2) où se trouve énoncé ce principe : « Toute chose qui se trouve sur un sol plan et parfait, de telle sorte que son pôle ne se trouve pas entre des parties d'égal poids, ne s'arrête jamais. » Cette solution du problème du plan incliné est d'ailleurs une application de ce principe, dont le précédent est un cas particulier : « Le corps qui se meut de soy-mesme aura d'autant plus de vistesse que le centre de sa pesanteur sera esloigné du centre de son soustien ». L'influence de Pappus, répétons-le, semble bien reconnaissable en cette solution ; mais la lecture des *Quæstiones* d'Albert de Saxe n'y est pas, non plus, étrangère ; elle se marque par cette phrase dont Léonard l'a fait précéder : « Tout corps

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. A, fol. 20, verso.
(2) *Ibid.*, Ms. A, fol. 21, verso.

pesant désire tomber au centre et l'opposition qui est la plus oblique lui fait le moins de résistance. » Cette phrase, en effet, résume fidèlement ce qu'Albertutius a écrit à l'encontre de la notion de gravité *secundum situm* et des principes de l'École de Jordanus.

Il y a plus, et l'on peut se demander si ces tentatives de Léonard au sujet du plan incliné ne lui ont pas été suggérées par la lecture d'une certaine *Question* d'Albert de Saxe touchant la *Physique* d'Aristote ; voici, en effet, ce que nous trouvons dans ce livre (1), dont aucune note de Léonard ne semblait, jusqu'ici, révéler l'influence :

« Supposons un espace vide entre le ciel et la Terre, et une surface équidistante du centre ; sur cette surface, posons deux sphères pesantes, l'une *a* et l'autre *b*, et supposons la sphère *a* plus lourde que la sphère *b*. Une vertu quelconque, si faible soit-elle, pourrait mouvoir ces deux sphères sur cette surface avec une facilité infinie. On le prouve ; chacune de ces sphères toucherait la surface en un point ; dès lors, chacun des deux hémisphères opposerait son poids au poids égal de l'autre, comme deux poids en équilibre ; dès lors, comme un excès de puissance, si faible soit-il, suffit au mouvement, n'importe quelle puissance pourrait mouvoir chacune de ces sphères avec une aisance infinie...

» Si un plan était posé transversalement dans le vide, et si l'on plaçait sur ce plan un grave simple et sphérique, ce grave descendrait sur ce plan avec une vitesse finie. Cela est évident car, ne pouvant descendre en ligne droite, il descendrait en roulant ; une partie de la sphère aurait à élever l'autre ; alors cette partie, qui se trouverait élevée par violence, tiendrait lieu de résistance. »

1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in octo libros Physicorum ;* in librum IV quæstio XII. — Il ne parait pas que cet ouvrage ait été imprimé avant 1516, époque où il fut imprimé à la fois à Venise et à Paris.

SECONDE PÉRIODE

DE LA RÉVOLUTION COPERNICAINE A TORRICELLI

7. *La tradition d'Albert de Saxe et la révolution copernicaine*

C'est en discutant (1) l'opinion d'Albert de Saxe au sujet des taches de la Lune, c'est en cherchant à établir sa propre opinion que Léonard était amené, dès l'année 1508, à rejeter l'hypothèse géocentrique et à formuler (2) cette vérité : « Comment la Terre n'est pas au milieu du cercle du Soleil, ni au milieu du monde, mais est bien au milieu de ses éléments qui l'accompagnent et lui sont unis. »

En 1508, donc, se montraient les signes avant-coureurs de la révolution copernicaine. Depuis un an déja, Copernic se livrait à ses méditations sur le système du monde, qui devaient l'occuper jusqu'en 1530 et ne devaient paraître imprimées qu'en 1543, au moment même où mourait leur auteur. Dès 1525 au plus tard, Celio Calcagnini, sans renoncer à l'hypothèse géocentrique, transportait à la Terre le mouvement diurne.

La révolution copernicaine bouleversait en un point essentiel la théorie péripatéticienne de la gravité, puisqu'elle ne mettait plus le centre de la Terre au centre de l'Univers. Mais, cette transformation accomplie, Copernic et ses disciples gardaient, autant que possible, les lois formulées par les scolastiques et, en particulier, par Albert de Saxe. Pour eux, comme pour les docteurs de l'École,

(1) Voir P. Duhem, *Albert de Saxe et Léonard de Vinci* (BULLETIN ITALIEN, t. V, p. 1 ; 1905).
(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 41, verso.

la pesanteur d'un corps terrestre, c'est le désir qu'a ce corps de s'unir au centre de gravité de la Terre, désir qui lui a été donné afin que la Terre conserve sa forme sphérique.

« La Terre, dit Copernic (1), est sphérique parce que, de toutes parts, elle s'efforce vers son centre. »

« L'élément de la Terre (2) est le plus lourd de tous et tous les corps pesants se portent vers elle et tendent vers son centre intime. »

Cette tendance, les scolastiques l'attribuaient aux seules parties de la Terre. Les Copernicains attribuent une tendance analogue aux fragments qui seraient détachés du Soleil, de la Lune ou d'une planète ; chacun de ces fragments tend au centre de l'astre auquel il appartient, afin que l'intégrité de cet astre soit sauvegardée : « La gravité n'est pas autre chose, à mon avis (3), qu'une certaine appétence naturelle donnée aux parties de la Terre par la divine providence de Celui qui fabriqua l'Univers, pour qu'elles concourent à leur unité et à leur intégrité en se réunissant sous forme de globe. Il est probable que cette affection appartient aussi au Soleil, à la Lune et aux clartés errantes, afin que, par l'efficace de cette affection, ces corps persévèrent dans la forme ronde sous laquelle nous les voyons. »

Les connaissances géographiques et cosmographiques de Copernic sont trop avancées pour qu'il ne rejette pas certaines opinions d'Albert de Saxe ; il sait qu'il n'existe pas, à la surface du globe, un hémisphère entièrement occupé par les eaux ; il sait que les continents et les mers forment une sphère presque parfaite et que la direction que tout grave suit dans sa chute va joindre le centre de

(1) Nicolai Copernici *De revolutionibus orbium cœlestium libri sex* ; lib. I, cap. II.

(2) Id., *ibid.;* lib. I, cap. VII.

(3) Id., *ibid.;* lib. I, cap. IX.

cette sphère. Il ne peut donc admettre, comme le docteur scolastique, que le centre de grandeur de la Terre soit éloigné de son centre de gravité et que ce dernier soit, à l'exclusion du premier, le centre de la sphère liquide. A plusieurs reprises, il combat ces affirmations d'Albert de Saxe, qu'il ne nomme pas, mais qu'il avait sûrement lu :

L'eau et la terre « tendent (1) toutes deux au même centre par leur gravité... Il ne faut point écouter les Péripatéticiens lorsqu'ils prétendent... que le centre de gravité est distinct du centre de grandeur... Qu'il n'y ait point de distinction entre le centre de grandeur et le centre de gravité, on peut le montrer ainsi : La surface de la Terre qui n'est pas couverte par l'Océan ne s'enfle pas d'une manière continuelle ; sinon, elle resserrerait extrêmement les eaux marines et ne se laisserait nullement pénétrer par les mers intérieures, semblables à de vastes golfes... Par toutes ces raisons, il est manifeste, selon moi, que la terre et l'eau s'efforcent en même temps vers un même centre de gravité, et que ce centre de gravité ne diffère point du centre de la Terre ».

Selon Copernic, donc, la terre et les mers forment une masse sensiblement sphérique, en sorte qu'il n'y a pas lieu de distinguer le centre de figure de la terre et le centre de figure de la surface des mers ; ces deux points sont peu éloignés l'un de l'autre. Cette doctrine, qui s'accordait fort bien avec toutes les observations géographiques et astronomiques, était indépendante de toute hypothèse sur le mouvement de la Terre ; il semblait donc qu'elle dût être acceptée sans difficulté et d'une manière générale. Il n'en fut rien ; elle rencontra, au contraire, une opposition vive et prolongée.

L'origine de cette opposition se doit chercher dans une

(1) Nicolai Copernici *De revolutionibus orbium cœlestium libri sex* ; liber I, cap. III.

opinion assez singulière qu'Aristote avait indiquée au livre des *Météores* (1) et que l'emploi du langage moderne permet de formuler en ces termes :

Les quatre éléments, la terre, l'eau, l'air, le feu, ont des masses égales, en sorte que les volumes qu'ils occupent sont en raison inverse de leurs densités ; or, selon plusieurs Péripatéticiens, lorsqu'une certaine masse de l'un de ces éléments *se corrompt* et, par cette corruption, *engendre* l'élément suivant, son volume décuple ; les densités des quatre éléments forment donc une progression géométrique de raison 10 ; partant, le volume total de l'eau doit être décuple du volume total occupé par la terre, le volume de l'air doit être décuple de celui de l'eau, le volume du feu décuple de celui de l'air.

Cette théorie, très fréquemment acceptée au moyen âge, avait engendré d'étranges hypothèses géodésiques ; telle celle de Nicolas de Lyre (2), que nous avons rappelée en son temps. D'ailleurs, dès le XIV[e] siècle, nous voyons les nominalistes de Paris rejeter, sur ce point, la doctrine qui se réclame d'Aristote ; nous voyons Albert de Saxe exposer des idées géodésiques fort analogues à celles que soutiendra Copernic ; nous voyons Thimon donner (3) une réfutation en règle de l'hypothèse selon laquelle les volumes des éléments forment une progression géométrique.

(1) Aristote, Μετεωρολογικά, A, γ. — En fait, Aristote n'a indiqué avec précision cette proportionnalité que pour les volumes de l'air et de l'eau : « Il faut qu'il y ait le même rapport de volume entre le tout de l'eau et le tout de l'air, qu'entre une petite quantité d'eau déterminée et l'air que cette eau peut engendrer. — *Ἀνάγκη δὲ τὸν αὐτὸν ἔχειν λόγον ὃν ἔχει τὸ τοσονδὶ καὶ μικρὸν ὕδωρ πρὸς τὸν ἐξ αὐτοῦ γινόμενον ἀέρα, καὶ τὸν πάντα πρὸς τὸ πᾶν ὕδωρ.* » Encore doit-on remarquer, avec Gaëtan de Tiène. que le sens exige une transposition des paroles d'Aristote.

(2) *Vide supra* : Première période, 5 ; p. 52.

(3) Thimonis *Quæstiones in libros Meteorum* ; in librum primum quæstio VI.

Mais les arguments fort sensés d'Albert de Saxe et de Thimon ne ravirent point le consentement universel ; la supposition d'Aristote était encore en faveur à la fin du xve siècle ; si Gaëtan de Tiène se borne, après avoir exposé l'opinion aristotélicienne, à déclarer (1) que « d'autres pensent autrement, et qu'il n'a cure de la question », certains, tels que Grégoire Reisch essayent, comme nous l'avons vu, d'accommoder (2) les idées d'Albert de Saxe avec l'hypothèse que l'eau occupe un volume décuple de celui de la terre.

Que de telles opinions aient pu être soutenues jusqu'au moment où les navigateurs vinrent transformer les connaissances géographiques de l'humanité, on le conçoit aisément ; mais qu'après Vasco de Gama et Christophe Colomb, qu'après Magellan, il se soit trouvé des hommes capables de prétendre que la terre solide forme une sphère dix fois moins volumineuse que l'Océan, que la terre ferme forme un continent de surface très petite par rapport à l'étendue des mers, cela paraîtra souverainement invraisemblable ; et cependant cela est.

Celui qui s'étonnerait de cet étrange phénomène intellectuel n'aurait pas, croyons-nous, une idée exacte de l'état des esprits au xvie siècle.

Ce qui caractérise la pensée d'un très grand nombre d'hommes de science, en cette époque trop vantée, c'est une étroitesse qui va, bien souvent, jusqu'à l'esprit sectaire.

Alors, comme en tout temps, on peut distinguer, parmi ceux qui ont souci de savoir, des novateurs et des conservateurs. Mais les novateurs, ou ceux qui se prétendent tels, sont alors d'une telle intransigeance qu'ils ne veulent

(1) *Libri Metheorum* Aristotelis Stagiritæ *cum commentariis* Gaictani de Thienis ; lib. I, cap. III. La première édition de cet ouvrage, qui en eut un grand nombre, fut donnée à Padoue, en 1476, par Pierre Maufer.

(2) *Vide supra :* Première période, 5, p. 64.

rien garder des conquêtes des âges précédents ; tout ce qui, de près ou même de très loin, se rattache à la Scolastique péripatéticienne leur paraît radicalement faux et pernicieux ; ils le rejettent sans examen, pour ne garder que ce qu'ont légué les géomètres de l'Antiquité classique. Ces novateurs, qui exténuent la Science en la vidant de tout ce que le moyen âge a conquis, nous les avons vus à l'œuvre lorsque nous avons étudié la réaction menée contre l'École de Jordanus par Guido Ubaldo del Monte et par Giovanni Battista Benedetti.

En face de ces novateurs qui prétendent jeter à bas l'œuvre entière des siècles précédents, se dressent des conservateurs qui prétendent tout garder de cette œuvre, même et surtout ce dont la fausseté éclate à tous les yeux. Certes, en la Scolastique du XIIIe et du XIVe siècle, une vénération profonde entoure la pensée d'Aristote ; mais cette vénération n'est nullement une aveugle servilité ; les Albert de Saxe et les Thimon discutent avec déférence l'opinion du Stagirite, mais ils la discutent et, lorsqu'ils croient avoir de bonnes raisons pour le faire, ils la rejettent. Au XVIe siècle, au contraire, nous voyons naître cet Aristotélisme d'esclaves, dont la routine prend la moindre parole du Maître, voire même la moindre opinion que les commentateurs aient cru découvrir en cette parole, pour un oracle infaillible contre lequel doivent se briser les contradictions les mieux justifiées, les raisons les plus solidement déduites, les faits les mieux avérés.

Il y avait douze ans que les compagnons de Magellan avaient achevé le tour du monde, lorsque le frère servite Mauro de Florence (1493-1556), reprenant les opinions de Grégoire Reisch, vint soutenir (1) que la terre solide

(1) *Sphera volgare novamente tradotta con molte notande additioni di geometria, cosmographia, arte navigatoria, et stereometria, proportioni et quantità delli elementi, distanze, grandezze et movimenti di tutti li corpi celesti, cose certamente rade et maravigliose*, autore M. Mauro Fiorentino, Phonasco et Philopanareto... (In fine) Anno salutis

forme une sphère qui affleure en une région peu étendue de la masse sphérique, et dix fois plus volumineuse, des eaux. Mauro de Florence reprend d'ailleurs une théorie qu'Albert de Saxe avait émise dans ses *Questions* sur la Physique d'Aristote, pour l'abandonner ensuite dans ses *Questions* sur le *De Cœlo*, théorie qui avait un instant sollicité l'adhésion de Thimon ; il remarque que l'agrégat de la terre et de la mer forme un corps hétérogène dont le centre de gravité n'est pas au centre de grandeur ; il admet que c'est ce centre de gravité général qui doit coïncider avec le centre de l'Univers, en sorte que la sphère terrestre et la surface des mers sont, chacune en leur particulier, excentriques au monde.

Copernic ne croit pas faire œuvre vaine en réfutant (1) les théories de Grégoire Reisch et de Mauro de Florence ; si la sphère de la terre solide, observe-t-il, était non pas dix fois, mais sept fois seulement moins volumineuse que la masse de l'eau, le centre de la surface sphérique qui limite l'Océan se trouverait en dehors du volume occupé par la terre ; il ne pourrait donc coïncider avec le centre de gravité de la terre solide, comme le veut Albert de Saxe en ses *Questions* sur le *De Cœlo ;* il est vrai que si Copernic semble admettre cette doctrine d'Albertutius, Mauro de Florence ne paraît pas l'accepter.

Cardan, qui a lu Copernic et le cite (2), partage la manière de voir du grand astronome sur les masses respec-

nostræ MDXXXVII, mense Ottobri, impresso in Venetia, per Bartholomeo Zanetti. — Même ouvrage : in Venetia, per Stefano di Sabio, 1537.

(1) Nicolai Copernici *De revolutionibus orbium cœlestium libri sex*, lib. I, cap. III.

(2) *Les livres* de Hiérome Cardanus, médecin Milannois, *intitulés de la Subtilité, et subtiles inventions, ensemble les causes occultes, et raisons d'icelles*, traduis de latin en français par Richard le Blanc ; à Paris, par Charles l'Angelier tenant sa boutique au premier pillier de la grand' salle du Palais ; 1556 ; livre XVII, fol. 323, verso. — Cette mention du nom de Copernic ne se trouve pas en la premiére édition du *De Subtilitate*, parue en 1551 ; elle a été introduite par Cardan en la seconde édition, sur laquelle a été faite la traduction française de Richard le Blanc.

tives de la terre ferme et de l'eau ; « Il n'est pas vrai, dit-il (1), que l'eau soit si grande, ni qu'elle forme une partie notable de la Terre entière. Il existe en réalité une très petite quantité d'eau qui, à cause de sa légèreté, reste à la surface de la Terre, remplissant les concavités les plus basses de cette surface... Si nous considérons seulement la surface de l'eau, nous pourrions la croire plus considérable que la terre ferme ; mais si nous tenons compte de la profondeur, il n'est plus possible de les comparer ». Il est impossible de rejeter plus nettement l'opinion de Grégoire Reisch et de Mauro de Florence.

Mauro de Florence trouva également un contradicteur convaincu en la personne d'Alexandre Piccolomini.

En son traité de Philosophie naturelle (2), Piccolomini avait exposé, touchant la figure de la terre et de l'eau, la doctrine devenue classique depuis Albert de Saxe. Par la démonstration d'Aristote et d'Adraste, il avait prouvé (3) que l'eau est limitée par une surface sphérique ayant pour centre le centre de l'Univers ; le centre de gravité de la terre se trouve au même point (4), mais, à cause de l'hétérogénéité de la terre, ce centre de gravité ne coïncide pas avec le centre de grandeur de cet élément. Mais, en cet ouvrage, Piccolomini n'a point examiné si l'eau occupait ou non un volume beaucoup plus grand que la terre.

A ce problème, il a consacré un écrit spécial (5) ; en cet

(1) Hieronymi Cardani, medici mediolanensis, De Subtilitate libri XXI ; Lugduni, apud Guglielmum Rouillium, sub scuto Veneto, 1551 ; lib. II, p. 124. — Trad. française de Richard le Blanc, fol. 63, recto.

(2) *La seconda parte della filosofia naturale* di M. Alessandro Piccolomini, in Vinegia, appresso Vincenzo Valgrisio, alla Bottega d'Erasmo. MDLIIII. — *La prima parte della filosofia naturale* avait paru en 1551 ; les deux parties ont eu, ultérieurement, plusieurs éditions.

(3) A. Piccolomini, *op. cit.*, lib. III, cap. III, p. 279.

(4) Id. *ibid.*, lib. III, cap. IX, p. 335.

(5) *Della grandezza della terra et dell' acqua*, trattato di M. Alessandro Piccolomini, nuovamente mandato in luce, all' illustr. et reverendissimo Sre Monsig. M. Iacomo Cocco, arcivescovo di Corfù. In Venetia, MDLVIII, appresso Giordano Ziletti, all' insegna della Stella. — Le même ouvrage, sous le même titre, et par les soins du même imprimeur, fut donné de nouveau en 1561.

écrit, il a longuement repris contre ceux qui attribuent à l'eau un volume décuple de celui de la terre, et spécialement contre Mauro de Florence (1), toutes les raisons que Thimon et Copernic avaient brièvement indiquées. Sa discussion, d'ailleurs, n'est point exempte d'erreurs ; en voici une, et assez singulière : Il pense (2) que l'ombre qui cause les éclipses de lune est celle du seul élément solide, l'eau ne portant point ombre, à cause de sa transparence.

L'ouvrage de Piccolomini ne termina pas, loin de là, le débat qui mettait les physiciens aux prises.

En 1578, Giuntini (3), après avoir copié des pages entières d'Albert de Saxe, qu'il ne nomme pas, se contente de dire (4) : « Pour moi, je pense que la terre et l'eau ont un même centre qui est aussi le centre l'Univers. » Ailleurs (5), il se déclare adversaire de Grégoire Reisch et de Mauro de Florence.

C'est, au contraire, à l'opinion de ces auteurs que se range Antonio Berga dans un ouvrage (6) où il prend très vivement à partie Alexandre Piccolomini.

Le pamphlet de Berga provoque, à son tour, une riposte de Giovanni Battista Benedetti (7).

Dans cet écrit, Benedetti argumente vivement contre ceux qui attribuent à l'eau un volume décuple du volume de la terre et, particulièrement, contre Antonio Berga ; il réfute leurs raisons et leur oppose les raisons données

(1) A. Piccolomini, *op. cit.*, cap. XIV.

(2) Id. *ibid.*, p. 41.

(3) Fr. Junctini Florentini, sacræ theologiæ doctoris, *Commentaria in Sphœram Joannis de Sacro Bosco accuratissima.* Lugduni, apud Philippum Tinghium, MDLXXVIII.

(4) Junctinus, *op. cit.*, p. 198.

(5) Id. *ibid.*, p. 179.

(6) Antonio Berga, *Discorso.... della grandezza dell' acqua et della terra, contra l'opinione dil* (sic) *S. Alessandro Piccolomini.* In Torino, appresso gli her. del Bevilacqua, MDLXXIX.

(7) *Consideratione* di Gio. Battista Benedetti, filosofo del Sereniss. S. Duca di Savoia, *d'intorno al discorso della grandezza della terra, et dell' acqua, del Eccellent. Sig. Antonio Berga filosofo nella Università di Torino.* In Torino, presso gli heredi del Bevilacqua, 1579.

par ses prédécesseurs, notamment par Copernic. Il ne cite point le nom de Copernic ; cependant, il l'avait profondément étudié, car il en fait très souvent mention dans ses lettres (1), n'hésitant pas à placer les livres *De revolutionibus orbium cœlestium* à côté de l'Almageste de Ptolémée (2). Il y a plus : Sans se déclarer partisan convaincu du système de Copernic, Benedetti le regarde comme une hypothèse plausible (3).

Dans ses considérations sur la grandeur de la terre et de l'eau, Benedetti admet pleinement la doctrine d'Albert de Saxe au sujet du centre de gravité, et il la formule avec une grande netteté, appelant à son aide aussi bien la définition du centre de gravité donnée par Pappus que la définition proposée par Commandin :

« Les philosophes anciens, dit-il (4), ont défini le centre de gravité des corps particuliers de la manière suivante :

» *Centrum gravitatis uniuscujusque corporis est punctum quoddam intra positum, a quo si grave appensum mente concipiatur, dum fertur quiescit, et servat eam quam in principio habebat positionem, neque in ipsa latione circumvertitur.*

» Quelques modernes le définissent ainsi :

» *Centrum gravitatis uniuscujusque solidæ figuræ est punctum illud intra positum, circa quod undique partes æqualium momentorum consistunt; si enim per tale centrum ducatur planum, figuram quomodocumque secans, semper in partes æqueponderantes ipsam dividet.*

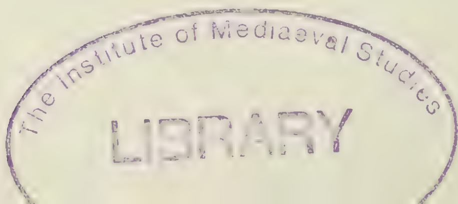
» D'autres encore disent que le centre de gravité de chaque corps est le point par lequel ce corps s'unirait au centre de l'Univers, s'il n'en était empêché.

(1) Jo. Baptistæ Benedicti, patritii Veneti, philosophi, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*; Taurini, apud hæredem Nicolai Bevilaquæ, MDLXXXV; pp. 215, 216, 235, 241, 242, 243, 255, 260, 261, 315.

(2) Id. *ibid.*, p. 235.

(3) Id. *ibid.*, p. 255.

(4) G. B. Benedetti, *Consideratione.....*, p. 17.



« Tous s'accordent en cette proposition que la Terre, par son centre de gravité, s'unit d'elle-même au centre de l'Univers. »

Quelques années plus tard, Guido Ubaldo redonnera un exposé aussi net et, semble-t-il, inspiré de celui que nous venons de citer, de la doctrine d'Albert de Saxe.

D'ailleurs, comme Copernic, comme Giuntini, Benedetti n'admet pas que le centre de gravité et le centre de figure de la Terre soient notablement distincts l'un de l'autre :

« Nous sommes certains, dit-il (1), que la surface sphérique de l'eau est partout équidistante du centre de l'Univers, point recherché par tous les corps graves ; de plus, par les nombreuses îles, par les différents pays que la navigation a découverts en toutes régions, nous pouvons être sûrs et certains, que l'eau avec la terre figurent un même globe.... et que le centre de grandeur de la Terre, confondu avec le centre de sa gravité, se trouve au centre de l'Univers. »

Ces lignes méritent d'arrêter un instant notre réflexion. Benedetti est, dans le domaine des sciences, un des réformateurs les plus audacieux et les plus intransigeants du XVIe siècle ; il attaque vivement, en maintes circonstances, la Physique d'Aristote ; il a formulé, au sujet de la chute des graves, une proposition qui bouleverse la théorie péripatéticienne de la pesanteur ; grand admirateur de Copernic, il se montre tenté d'adopter le système héliocentrique ; en revanche, il rejette sans pitié toute la Mécanique du moyen âge, englobant dans cette proscription même les plus belles conquêtes de l'École de Jordanus, même la solution, si exacte, du problème du plan incliné. Et, cependant, cette sorte de haine, souvent aveugle, pour la science du passé s'arrête, respectueuse, devant un monument de la Physique du XIVe siècle ; ce monument,

(1) G. B. Benedetti, *Consideratione.....*, p. 14.

c'est la théorie du centre de gravité imaginée par Albert de Saxe ; cette théorie, dont la fausseté nous paraît aujourd'hui si criante, résiste, à peine modifiée, à la révolution copernicaine, à la réforme scientifique ; Benedetti la maintient, comme l'a fait Copernic, comme le feront Guido Ubaldo et Galilée ; et, malgré les attaques de Képler, elle survivra encore jusqu'au temps de Newton.

Les *Considérations* de Benedetti ne suffirent pas à convaincre d'erreur ceux qui voulaient que la mer fût plus volumineuse que la terre ; cette opinion continua à se produire et à être discutée jusqu'à l'aube du XVIIe siècle. En 1580, Francesco Maria Vialardi publie une traduction latine du libelle d'Antonio Berga et des *Considérations* de Benedetti (1) ; en 1583, Agostino Michele revient à la charge (2) en faveur de l'antique opinion qui met, en ce monde, plus d'eau que de terre. Dans une longue lettre adressée en 1584 à Horatio Muto (3), Benedetti, reprenant son ancienne discussion avec Piccolomini et Berga, s'empresse de réfuter les arguments d'Agostino Michele. L'année suivante, Nonio Marcello Saia vient se ranger au parti de Benedetti (4).

Ce parti finit par être celui auquel se rangent tous les esprits sensés. En 1593, les Jésuites de l'Université de Coïmbre, sévères gardiens, en Physique, de la tradition péripatéticienne, publient leurs commentaires au *De Cœlo*

(1) *Disputatio de magnitudine terræ et aquæ.....* a Franc. Maria Vialardo *ab italico in latinum sermonem conversa* ; Taurini, apud Jo. Bapt. Baterium, 1580.

(2) *Trattato della grandezza dell' acqua e della terra* di Agostino Michele, nel quale contra l'opinione di molti filosofi, et di molti matematici illustri, dimostrasi l'acqua esser di maggior quantità della terra : (In fine) In Venetia, appresso Nicolò Moretti ; MDLXXXIII.

(3) J. B. Benedicti *Diversarum speculationum liber*, p. 397.

(4) *Tractatus in quo adversus antiquorum, et præcipue peripateticorum opinionem terram esse aqua majorem multis efficacissimis rationibus et experientiis demonstratur*, auctore Nonio Marcello Saia a Rocca Gloriosa in Lucana........... *Addita est etiam quatuor elementorum expositio* ; Parisiis, apud Thomam Perier, vià Jacobæa, sub insigne Bellerophonte, MDLXXXV.

d'Aristote (1). Sans nommer Albert de Saxe, ils exposent clairement les principaux points de sa doctrine : la distinction entre le centre de gravité et le centre de grandeur, la coïncidence du centre de gravité de la terre avec le centre du Monde, l'allègement par la chaleur solaire de la partie découverte de la terre ; puis ils concluent qu'au degré d'approximation où la hauteur des montagnes et la profondeur de l'Océan sont négligeables, la terre et les eaux forment un globe unique dont les centres de gravité coïncident, ces deux points étant d'ailleurs unis au centre de l'Univers. Partisans et adversaires du système de Copernic s'entendent désormais pour présenter la doctrine d'Albert de Saxe à peu près sous la même forme ; cette forme, entrevue par Albert de Saxe lui-même, est celle qu'ont proposée Copernic et Benedetti. Une seule divergence sépare les deux Écoles. Pour les partisans du système géocentrique, le point où tendent les graves, où se placent le centre de gravité de la terre et le centre de la surface des mers, est le centre même de l'Univers ; pour les disciples de Copernic, ce point est un point particulier à l'astre que nous nommons Terre, et en chaque astre il existe un point analogue ; au point de vue de la Mécanique céleste, la différence est grave ; elle est sans importance pour la Statique.

Copernicains et adversaires de Copernic sont, à la fin du XVIe siècle, d'accord au sujet de cette affirmation : Il existe un centre commun de tous les graves qui appartiennent à notre Terre ; que ce centre de gravité soit ou ne soit pas au centre du Monde, c'est vers lui que tous les corps pesants se portent ; chacun d'eux désire unir son centre de gravité au centre commun des graves ; s'il est libre, il se meut de telle sorte que son centre de gravité

(1) *Commentarii Collegii Conimbricensis, Societatis Jesu, in quatuor libros de Cœlo Aristotelis Stagiritæ*; Lugduni, ex officina Juntarum. MDXCIII. — In librum II de Cœlo quæstio III : Num terra in medio mundi constituta sit, habeatque idem centrum gravitatis et magnitudinis. Artt. 1 et 2.

décrive la *ligne de direction*, c'est-à-dire la ligne droite qui unit ce point au centre commun des graves.

Telle est la doctrine, directement issue de la tradition d'Albert de Saxe, que nous trouvons affirmée dans les écrits de Cardan et, plus explicitement, dans ceux de Guido Ubaldo.

8. *La tradition d'Albert de Saxe et de Léonard de Vinci : Cardan et Guido Ubaldo.*

Léonard de Vinci répétait fréquemment cette formule : La partie la plus lourde d'un grave se fait guide de son mouvement. Cette formule Cardan la précise : Lorsqu'un grave se meut sans violence, qu'il soit libre ou gêné par certaines liaisons, toujours le centre de gravité descend.

Voici en quels termes (1) il formule cette importante proposition :

« *Tout grave qui descend en partie seulement par mouvement naturel, descend par la partie la plus lourde selon le centre de gravité.* »

Voici, d'ailleurs, comment Cardan commente cette proposition qui, on le voit sans peine, contenait en germe le principe de Torricelli :

« Soit *a* le mobile, *b* son centre de gravité, *cd* la partie du mobile la plus voisine du centre. Si une partie du mobile touche terre, je dis que *cd* descendra par mouvement naturel, car si *a* ne peut descendre tout entier au centre, *b* descend. En effet, la partie a même nature que le tout ; or la nature de la Terre entière est que le centre de gravité soit le centre du tout ; *b* se porte donc au centre par la voie la plus courte, partant suivant *cd* qui est la partie la plus proche de ce point *b*. Mais la partie la plus

(1) Hieronymi Cardani Mediolanensis, civisque Bononiensis, philosophi, medici et mathematici clarissimi, *Opus novum de proportionibus...*, Basileæ, MDLXX, Prop. LX, p. 51.

proche du centre de gravité est nécessairement la plus lourde, car ce centre est au milieu de la gravité. Donc, en mouvement naturel, tout mobile descend par sa partie la plus lourde. »

« Il résulte de là que si un grave a des parties inégales, de forme ou de substance, et s'il est placé de telle sorte que la partie la plus lourde ne soit pas en bas, il est nécessaire qu'il pirouette. »

Cette tendance du centre de gravité d'un grave ou d'un ensemble de graves est d'ailleurs, pour Cardan, le principe unique d'où dépendent tous les phénomènes de mouvement et de repos causés par la pesanteur : « A ce sujet (1), remarquons ceci, qui est bien digne d'admiration : ... Un grave, privé de sens, doit suivre une règle géométrique à peine connue des sages ; à cela, il y a cependant une cause, et bien évidente ; tout ce qui est grave se trouve dans la ligne issue du centre du Monde ; si le milieu du grave [suspendu] se trouve hors de cette ligne, il se tourne vers cette ligne qui est en lui, car le centre [du Monde] est toujours en cette ligne. Donc la seule inclination du centre du grave à se trouver sur la ligne qui se dirige vers le centre de gravité de la Terre et le centre du Monde suffit à toute explication. »

Cette Statique dont il esquisse le principe en l'*Opus novum de proportionibus*, Cardan en avait, depuis longtemps, tenté l'application à un problème particulier ; si nous ouvrons, en effet, la traduction française que Richard le Blanc a donnée du *De Subtilitate*, nous y lisons le curieux passage que voici (2) :

(1) Hieronymi Cardani Mediolanensis, civisque Bononiensis, philosophi, medici et mathematici clarissimi, *Opus novum de proportionibus*..., Basileæ, MDLXX, Prop. LX, p. 51.

(2) *Les livres* de Hierome Cardanus, medecin Milannois, *intitulés de la Subtilité et subtiles inventions, ensemble les causes occultes, et raisons d'icelles*, traduis de latin en françois par Richard le Blanc ; à Paris, par Charles l'Angelier, tenant sa boutique au premier pillier de la grand' salle du Palais. Livre XVII, fol 343, verso.

« Nous avons parlé des choses qui soustiennent plus que la raison ne semble le monstrer, et aussi des choses qui s'entresoustiennent ; de présent, il convient monstrer comment une chose semble se soustenir de soi-mesme.

» Qu'un buffet plat ou table soit AB (fig. 98[a]), et le baston soit CE, duquel la partie extérieurre soit sous l'anse du seau plein d'eau GFH, et qu'un baston droit EF estroitement soit colloqué entre le baston CE et le fond du seau F, en sorte qu'il ne puisse couler, lors je dis que le seau demeure pendu et ne tombe point ».

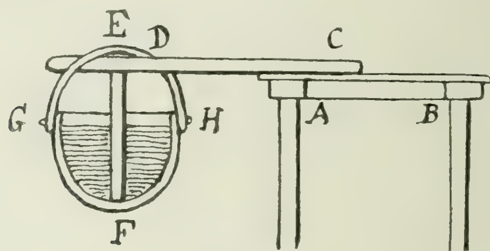


fig. 98[a].

Il est clair que Cardan se méprend ici complètement et qu'aussitôt abandonnés à eux-mêmes, seau et bâton tomberont à terre ; néanmoins, le médecin Milanais entreprend de prouver son dire ; et voici comment il s'y prend : Imaginant que le seau vienne à tomber, il prétend prouver que « le centre de la pesanteur est éloigné de soi-mesme du centre de la Terre ; pourtant, entendu que ceci est pesant, il descend par mouvement naturel, ce qui ne peut estre ici pour l'empeschement. Le seau donc ne descend... » — « Igitur, dit le texte latin, plus clair que la traduction de Richard le Blanc, centrum gravitatis elongatum est a centro Terræ sponte, igitur motu naturali grave ascendit, quod esse non potest. Non igitur situla descendit... »

Les déductions par lesquelles, d'un principe exact et fécond, Cardan prétend tirer un corollaire manifestement

absurde ne sont, cela va sans dire, nullement concluantes. Il semble, d'ailleurs, que le célèbre astrologue ait eu quelque soupçon et de la fausseté du fait allégué, et de l'illogisme des raisonnements par lesquels il a voulu en rendre compte ; son exposé, en effet, se termine par ces paroles :

« Et faut (de peur que l'expérience ne te déçoive avec la moquerie des assistans ; car si l'entreprise ne vient à souhait, les ignares ne blament seulement l'homme, ains aussi les démonstrations) il faut donc que tu sois très diligent en ceci : premièrement que la superficie du buffet et de la table soit en balence, que le bois soit exactement droit, non flexile ; semblablement que le bois EF soit droit et bien joint entre le fond du seau et CE, en sorte qu'il face tenir fermement le bois CE à l'anse D ; et que le poinct F soit le centre de la pesanteur ; aussi que le seau soit rond.

» Plusieurs liront ceci, mais peu l'entendront. Il faut toutefois plus entendre qu'il n'est écrit, néantmoins que rien ne soit délaissé qui appartienne à la perfection ».

Comment expliquer cet étrange passage de Cardan ? On pressent qu'il est la déformation d'un raisonnement exact, dont Cardan aura rencontré quelque copie tronquée et faussée qu'il se sera empressé d'insérer, sans la comprendre, dans son *De Subtilitate*.

Mais nous est-il possible de découvrir le cas d'équilibre réel dont la description altérée a été reproduite par Cardan ? Quelques indices vont nous mettre sur la voie.

Le passage de Cardan que nous avons cité ne se trouve pas dans la première édition du *De Subtilitate* ; l'astrologue Milanais l'a introduit seulement en la deuxième édition, sur laquelle a été faite la traduction française de Richard le Blanc ; il l'a maintenu dans toutes les éditions ultérieures.

Or, cette addition n'est point la seule que le XVIIe livre du

De Subtilitate ait reçue en la seconde édition ; il en est une qui termine ce livre ; et, de suite, la pensée nous vient que ces deux additions pourraient bien avoir même origine.

L'addition qui termine le XVIIe livre (1) a pour objet d'expliquer « pourquoi l'homme se travaille tant en montant ». Parmi les raisons que donne Cardan se trouve celle-ci : « La tierce cause est propre à la situation qui est fort roide. Car entendu que l'homme ne peut bien se tenir debout, s'il n'est sus la plante des piés, quand en montagne roide la superficie n'est équidistante au centre de la terre, il est pource contreint quand il monte et qu'il est debout, de se contenir et soustenir à grande force, pource que la plante de ses piés ne se repose ; pourtant, l'homme est lors contreint de trois choses en faire une, ou de se soustenir seulement sus la partie antérieure de ses piés, ou d'encliner et corber tout le cors pardevant, ou de se soustenir par grande distention et estente des muscles, qui est chose très laborieuse ».

Pouvons-nous lire ce passage sans songer aux considérations de Léonard de Vinci sur les diverses postures du corps humain, sans nous souvenir, en particulier, de ce passage (2) : « Celui qui monte en un lieu quelconque doit donner une plus grande partie de son poids en avant de son pied le plus élevé qu'en arrière, c'est-à-dire en avant du pôle qu'arrière du pôle » ? Nous voilà donc sollicités à penser que nous trouverons dans les notes de Léonard de Vinci le cas d'équilibre que Cardan nous a présenté sous une forme si peu sensée.

Ouvrons, en effet, le cahier où se trouve le passage que nous venons de citer ; tournons cinq feuillets après celui où ce passage est écrit ; voici ce que nous lirons (3) :

(1) Traduction de Richard le Blanc, fol. 351.
(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. A. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 28, verso.
(3) Id., *ibid.*, fol. 33, verso.

« Le poids uni qui est soutenu par le milieu [centre de gravité] et dont le reste est suspendu peut être de n'importe quelle forme étrange, car il s'établira toujours en équilibre sur son soutien, et quelquefois les extrémités ne ne trouveront pas à égale distance du centre du poids.

» *Exemple.* Ainsi, soit AB (fig. 98^b) un bout de règle

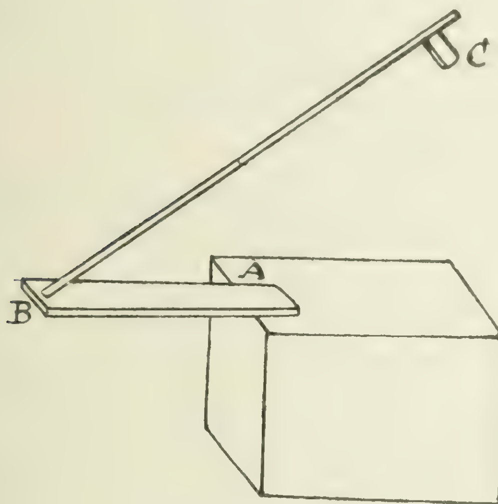


fig. 98^b.

qui pose seulement par l'extrémité A, le reste étant suspendu ; c'est impossible à faire si d'abord tu n'attaches pas à cette règle le poids C qui fasse un contrepoids tel que A reste au milieu entre C et B, et ce poids viendra à s'arrêter sur le pôle A.

» L'instrument de dessous (fig. 98^c) est soumis à une raison semblable ».

Arrêtons notre attention sur cet « instrument de dessous » ; en C, Léonard de Vinci a mis un contrepoids quelconque ; que l'on y accroche un seau plein d'eau et, visiblement, on aura réalisé le cas d'équilibre paradoxal dont Cardan nous a décrit une si singulière déformation.

Que conclurons nous de ce rapprochement ? Une hypothèse, que nous allons formuler dès maintenant et à laquelle la suite de ce Chapitre apportera mainte confirmation.

Après avoir jeté pêle-mêle, sur les feuillets des cahiers qui nous ont été en partie conservés, les réflexions que lui suggéraient ses lectures ou ses méditations, de temps en temps, Léonard recueillait, en ses brouillons, toutes les pensées qui avaient trait à un même objet ; il les transcri-

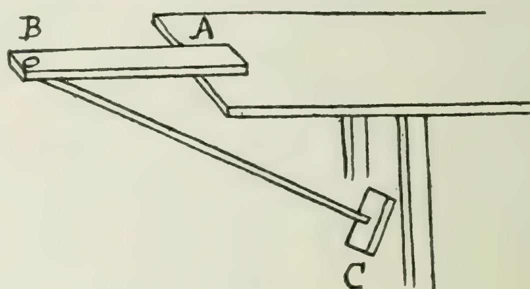


fig. 98^c.

vait, parfois en les complétant, et en les rangeant dans un certain ordre ; le *Traité de la peinture*, le *Trattato del moto e misura dell' acqua*, que nous possédons, ont été ainsi composés ; d'autres, sans doute avaient été formés d'une manière analogue : tel le *Traité de perspective* que Benvenuto avait acquis.

Melzi, dans l'intention de servir la renommée de Léonard de Vinci en répandant ses idées, fit faire, de ces divers traités, des copies (1) qu'il mit en circulation, et dont les lecteurs tiraient de nouvelles répliques, plus ou moins complètes, plus ou moins parfaites ; c'est par de telles copies que nous connaissons le *Traité de la peinture*, le

(1) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut ; Paris, 1881. Préface, p. 2.

Trattato del moto e misura dell' acqua, dont les originaux sont perdus.

Léonard avait certainement réuni, en un ou plusieurs traités, les propriétés du centre de gravité que ses méditations sur la doctrine d'Albert de Saxe lui avaient fait découvrir ; au *Traité de la peinture*, comme nous le verrons au § suivant, il cite un de ces écrits qu'il avait intitulé *Traité du mouvement local*.

Ces traités sur les propriétés du centre de gravité furent certainement connus de plusieurs mécaniciens du XVIe siècle ; les études qui seront développées aux deux §§ suivants ne sauraient, à cet égard, laisser place au doute.

Cardan a-t-il connu ces recueils ? Il serait difficile d'en douter ; maint passage du *De Subtilitate*, hors celui qui nous occupe en ce moment, porte la trace de l'influence exercée par les pensées de Léonard ; et d'ailleurs, en ce même XVIIe livre du *De Subtilitate*, Cardan cite par deux fois Léonard de Vinci ; une première fois (1), pour ses recherches anatomiques ; une seconde fois (2), pour ses essais d'aviation. Connaissant les voies diverses en lesquelles avait progressé l'extraordinaire activité intellectuelle du grand peintre, il dut rechercher avidement les reliques de cette activité (3) ; il eut donc en mains, très vraisemblablement, la copie d'un de ces traités où Léonard avait consigné les propriétés du centre de gravité ; mais la copie était fautive et, religieusement, Cardan a reproduit la faute qui l'entachait.

Une dernière remarque.

Léonard de Vinci a entouré d'explications assez confuses les deux cas d'équilibre paradoxaux qu'il a imaginés ;

(1) Hieronymi Cardani, Medici Mediolanensis, *De Subtilitate libri XXI;* Lugduni, 1551 ; p. 529. — Trad. française de Richard le Blanc, fol. 318, verso.

(2) Cardan, *De Subtilitate*, éd. de 1551 ; p. 552. — Trad. française de Richard le Blanc, fol. 322, recto.

(3) Voir P. Duhem, *Léonard de Vinci et Jérôme Cardan*. Cet article paraîtra prochainement dans le BULLETIN ITALIEN.

néanmoins, il est assez aisé de démêler qu'il entend les ramener à ce principe découvert par lui : Un corps est en équilibre lorsque son centre de gravité se projette à l'intérieur de la base par laquelle il repose sur le sol ou sur un support horizontal.

Au *De Subtilitate*, ce n'est pas ce principe là qui est invoqué, mais cet autre : Un système est assurément en équilibre si tout déplacement virtuel en fait monter le centre de gravité.

A qui convient-il d'attribuer ce changement de méthode de démonstration ? Est-ce à Cardan ? Mais Cardan, en cette affaire, paraît avoir joué un rôle de copiste peu intelligent, bien plutôt que d'inventeur. On serait donc amené à penser que ce changement de méthode est dû à Léonard de Vinci lui-même ; il l'aurait introduit en transcrivant les deux cas d'équilibre que nous avons rencontrés dans ses notes.

L'hypothèse n'a rien d'invraisemblable ; elle s'accorderait fort bien avec certains faits, avec celui-ci, par exemple : Bernadino Baldi, comme nous le verrons plus loin, semble avoir tiré toute sa Mécanique des traités de Léonard ; or, il fait un constant usage de ce principe : Le centre de gravité d'un système pesant ne peut monter de lui-même.

Si cette hypothèse est conforme à la vérité, elle ferait de Léonard le véritable inventeur du principe de Statique communément attribué à Torricelli.

La doctrine que Cardan professe en l'*Opus novum* est exactement celle qui était enseignée à Paris au XIVe siècle. Cette même doctrine, nous en trouvons l'expression absolument nette et précise dans l'œuvre de Guido Ubaldo. Après avoir exposé la définition du centre de gravité donnée par Pappus et Frédéric Commandin, le marquis del Monte poursuit en ces termes (1) :

(1) Guidi Ubaldo e Marchionibus Montis *in duos Archimedis æquiponderantium libros paraphrasis, Scholiis illustrata*, Pisauri, apud Hieronymum Concordiam, MDLXXXVIII ; p. 9.

« On peut tirer de là la conséquence suivante : Si un grave était placé au centre du Monde, il faudrait que ce fût son centre de gravité qui fût situé au centre du Monde, si l'on admet toutefois que l'équilibre de ce grave en cette situation exige que les diverses parties qui entourent ce point aient et conservent un même moment. Lors donc que l'on énonce cette proposition : un grave quelconque désire, par une propension naturelle, se placer au centre du Monde, on n'entend point dire autre chose que ceci : ce grave désire appliquer son propre centre de gravité au centre de l'Univers, afin de se trouver parfaitement en repos. Il en résulte que le mouvement vers le bas d'un grave quelconque a lieu suivant la ligne droite qui unit le centre de gravité du grave même au centre du Monde. Aussi la chute rectiligne des graves montre-t-elle clairement que les graves tendent en bas selon leur centre de gravité...

» Tout ce que nous avons dit jusqu'ici du centre de gravité nous fait comprendre qu'un grave pèse, à proprement parler, en son centre de gravité ; le nom même de centre de gravité semble énoncer manifestement cette vérité. Toute la force, toute la gravité du poids est ramassée et réunie au centre de gravité ; elle semble couler de toutes parts vers ce point. A cause de sa gravité, en effet, le poids désire naturellement parvenir au centre de l'Univers ; mais, nous l'avons dit, ce qui tend proprement au centre du Monde, c'est le centre de gravité. C'est donc proprement en son centre de gravité qu'un poids gravite. Dès lors, lorsqu'un poids quelconque est soutenu par une puissance quelconque en son centre de gravité, alors le poids s'arrête aussitôt en équilibre, et l'entière gravité de ce poids est perceptible au sens. C'est ce qui arrive si le poids est soutenu en un point tel que la droite joignant ce poids au centre de gravité passe par le centre du Monde. Dans ce cas, en effet, tout se passe

comme si le poids était soutenu précisément en son centre de gravité. Il n'en est plus de même si le poids est soutenu en un point quelconque. Dans ce cas, le poids ne s'arrête pas en équilibre ; avant que sa gravité puisse être perçue, il tourne jusqu'à ce que, comme dans le cas précédent, la ligne qui joint le point de suspension au centre de gravité se prolonge vers le centre de l'Univers.

» ... Lorsque cette ligne est perpendiculaire à l'horizon, il en est absolument de même, nous l'avons dit il y a un instant, que si le poids était exactement soutenu en son centre de gravité. Puis donc que la gravité d'un poids ne peut être aucunement perçue, si ce n'est au centre de gravité de ce poids, assurément, c'est en ce point que gravite proprement le poids. »

Cette doctrine, si nettement formulée par Guido Ubaldo del Monte, n'est qu'un rajeunissement de la théorie de la pesanteur donnée au XIVe siècle par Albert de Saxe ; elle repose tout entière sur cette hypothèse : Il existe, au sein de tout grave rigide, un point fixe, le *centre de gravité*, auquel sa pesanteur tout entière est appliquée. L'existence de ce point n'est pas seulement une *existence limite*, bornée au cas où l'on regarde les verticales comme parallèles entre elles. Elle subsiste lors même que l'on tient compte de la convergence de ces lignes vers un même point, le *centre commun* des graves.

Nous savons aujourd'hui que cette hypothèse est fausse ; mais les géomètres l'ont regardée comme recevable jusqu'au milieu du XVIIe siècle. Sans la formuler explicitement, ni Archimède, ni Pappus ne l'avaient formellement exclue. Nous allons voir cette supposition et la doctrine de la gravité qui s'y rattache jouer un rôle essentiel dans le développement de la Statique. Elle provoquera d'importantes découvertes ; telle la découverte du principe de Torricelli. Elle conduira aussi à maintes erreurs qui ruineront son crédit et presseront les géomètres de concevoir une plus juste notion du centre de gravité.

Les conséquences fausses de cette conception trop générale du centre de gravité se montrent déjà dans les écrits de Guido Ubaldo. Elles souillent ce qu'il y a de vrai dans les objections adressées (1) par ce géomètre à la proposition erronée que Jordanus et Tartaglia avaient formulée touchant la stabilité de la balance. « Guido Ubaldi qui les réfuta, dit fort justement Montucla (2), n'évita lui-même qu'une partie de ces erreurs, car après avoir montré que la balance restait dans la situation inclinée, si les directions étaient parallèles, il s'efforça d'étendre la même décision au cas dans lequel elles convergent. La cause de son illusion fut d'avoir pensé que, dans le cas des directions convergentes, le centre de gravité était le même, soit que la balance fût horizontale, soit qu'elle fût inclinée. »

9. *La tradition d'Albert de Saxe et de Léonard de Vinci : J.-B. Villalpand et Mersenne*

Guido Ubaldo n'avait point, de la doctrine d'Albert de Saxe, tiré de conséquences applicables à la Statique ; c'est, au contraire, à cette branche de la Mécanique que se rapportent les théorèmes de J.-B. Villalpand.

Jean-Baptiste Villalpand, né à Cordoue en 1552, entra dans la Société de Jésus où il eut pour maître le P. Jérôme Prado, né lui-même en 1547, à Bacca. Philippe II ayant demandé un commentaire de la vision d'Ézéchiel au P. Prado, celui-ci associa son élève à cet ouvrage, auquel il voulait donner les plus vastes proportions (3). Le P. Vil-

(1) Guidi Ubaldi e Marchionibus Montis *Mecanicorum liber*. Venetiis, MDCXV, p. 15.

(2) Montucla, *Histoire des Mathématiques*, Paris, an VII. Part. III, livre V, t. I, p. 91.

(3) Hieronymi Pradi et Joannis-Baptistæ Villalpandi e Societate Jesu *in Ezechielem explanationes et apparatus Urbis et Templi Hierosolymitani commentariis et imaginibus illustratus.* Opus tribus tomis distinctum. Romæ, MDXCVI-MDCIIII.

lalpand n'était, tout d'abord, chargé que de la partie archéologique ; mais le P. Prado mourut à Rome en 1595, laissant son commentaire inachevé ; son élève le continua et composa seul le troisième volume (1). Villalpand mourut à Rome en 1608, sans avoir terminé cette gigantesque explication d'Ézéchiel.

Au cours des études archéologiques sur Jérusalem et le Temple, Villalpand s'attache à réfuter une singulière erreur. Certains commentateurs avaient prétendu ceci : La Judée est un pays si montagneux que la surface du sol y est quatre fois plus considérable qu'en un pays de plaine que délimiteraient les mêmes frontières. Pour prouver l'absurdité, ou mieux l'inutilité d'une telle supposition, Villalpand entreprend de démontrer qu'un sol montueux ne peut porter ni plus d'hommes, ni plus d'animaux, ni plus d'édifices, ni plus d'arbres qu'une plaine de mêmes contours. La démonstration cherchée se doit tirer des conditions d'équilibre d'un corps grave reposant sur le sol.

La Statique de Villalpand a assurément subi l'influence des ouvrages de Guido Ubaldo. L'exposition des deux définitions du centre de gravité données par Pappus et par Commandin ne saurait laisser de doute à cet égard. Mais, en reproduisant les propositions données par le marquis del Monte, Villalpand s'efforce visiblement de les dégager de toute supposition sur l'affinité entre le centre de gravité de chaque corps et le centre commun des graves. Le savant jésuite ne parle pas de cette affinité ; il déclare formellement qu'il traitera les verticales comme parallèles ; enfin, lorsqu'il reproduit les propositions admises par Guido Ubaldo, il les justifie non par le désir qu'a le centre de gravité de tout corps de s'unir au centre commun des graves, mais par des déductions tirées de la définition même du centre de gravité.

(1) *Tomi III, apparatus Urbis ac Templi Hierosolymitani. Partes I et II* Joannis-Baptistæ Villalpandi Cordubensis e Societate Jesu, collato studio cum H. Prado ex eadem Societate. Romæ, MDCIIII.

Ces déductions, d'ailleurs, il ne nous les faut pas examiner bien longuement pour en découvrir l'origine ; les propriétés que Villalpand attribue à la *ligne de direction*, c'est-à-dire à la verticale passant par le centre de gravité, il les emprunte pour la plupart à Léonard de Vinci.

Cette proposition (1) : « *Tout grave qui descend sans empêchement, tombe de telle sorte que le centre de gravité ne s'écarte pas de la verticale* » a pu être extraite de

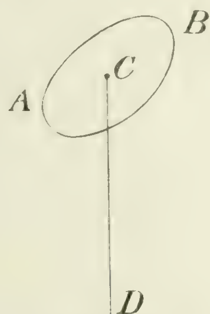


fig. 99.

Guido Ubaldo. Villalpand la justifie ainsi : « Dans le grave AB (fig. 99), soit C le centre de gravité ; joignons ce point au centre du Monde D par la droite CD ; je dis que lorsque le grave AB descend, le point C ne s'éloigne pas de la droite CD ; elle est, en effet, la plus courte distance. Dès lors, comme le grave n'est gêné par aucun obstacle, et que ledit point C est entouré de parties d'égal moment, rien n'empêche que, délaissant toutes les voies plus longues, il parcoure la plus courte. »

La démonstration esquissée par Villalpand n'est point sans analogie avec cette note (2) de Léonard : « Toute action naturelle est faite par la voie la plus courte ; c'est

(1) J. B. Villalpand, *loc. cit.*, Prop. IV, p. 321.
(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. G, fol. 75, recto.

pourquoi la descente libre du grave est faite vers le centre du Monde, l'espace le plus court étant entre le mobile et le centre de l'Univers ». Plus étroitement encore, elle rappelle ce passage du *Traité de la Peinture* (1) : « Cela se prouve par la 9e du Mouvement Local, où il est dit que tout grave pèse par la ligne de son mouvement ; de sorte qu'un tout se mouvant vers quelque lieu, la partie qui luy est unie suit la ligne la plus courte du mouvement de son tout, sans charger aucunement de son poids les parties collatérales de ce tout. »

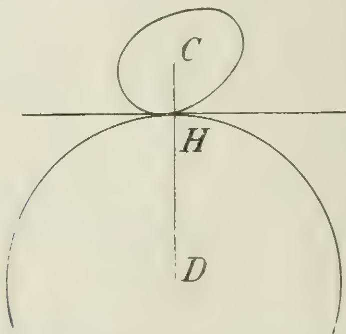


fig. 100.

Léonard, dans ce passage, fait allusion a un *Traité du Mouvement local ;* il l'avait sans doute préparé, comme le *Traité de la Peinture*, le *Traité de la Perspective*, le *Traité de l'Eau*, qui nous sont parvenus ou dont certains témoignages nous enseignent l'existence. Villalpand n'a-t-il point eu en mains une copie de ce Traité ? N'en a-t-il point tiré la suite de ses théorèmes sur la ligne de direction ? L'examen de ces théorèmes ne nous permettra guère d'en douter, car ils portent, bien nette encore, l'empreinte du Vinci.

Pouvons-nous, par exemple, ne point songer à certains

(1) *Le Traité de la Peinture* de Léonard de Vinci, Ch. CXCVII, p. 64.

fragments du cahier A que nous avons cités tout à l'heure, lorsque nous lisons la proposition suivante (1) :

« *Tout corps qui repose sur le sol par un point demeurera en équilibre si la verticale qui passe par ce point passe aussi par le centre de gravité ; il tombera si cette ligne passe hors du centre de gravité...*

» Si la ligne de direction HD (fig. 100) passe par le point C, le corps demeurera immobile ; car ses parties de poids égal se trouvent équidistantes de la ligne en question. Il en résulte qu'aucune de ces parties ne peut entraîner les autres d'un côté ni de l'autre. »

A cette proposition succède cette autre (2) :

« Le grave sphérique parfait, posé sur un plan parfait, s'il n'en est empêché, se mouvra sans cesse jusqu'à ce qu'il parvienne au seul point du plan où il peut demeurer en repos. »

Léonard, jetant sur les feuillets du cahier F les pensées que lui suggérait la lecture d'Albert de Saxe, avait écrit (3) : « Le grave sphérique parfait, placé à l'extrémité du plan parfait, ne s'arrêtera pas, mais s'en ira tout de suite au milieu du plan. » L'emprunt fait par Villalpand n'est point niable ; il l'est d'autant moins que ce théorème n'a pu être suggéré au savant Jésuite par l'objet qu'il se proposait ; il ne concourt nullement à cet objet.

Le sceau du Vinci est encore marqué, et bien profondément, en cette proposition (4) et en la démonstration qui la justifie :

« *Un grave qui repose sur le sol par une certaine aire demeure en équilibre lorsqu'une verticale, menée par le milieu de cette aire, passe par le centre de gravité ; ou bien lorsqu'une verticale menée par le bord de cette aire passe par le centre de gravité ou le laisse du même côté que cette*

(1) Villalpand, *loc. cit.*, prop. V, p. 321.
(2) Id. *ibid.*, prop. VI, p. 322.
(3) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. F, fol. 82, verso.
(4) Villalpand, *loc. cit.*, prop. VII, p. 322.

aire. Mais si elle laisse le centre de gravité de l'autre côté, le grave tombera assurément.

» ... Si la ligne FC (fig. 101) prolongée laisse le centre de gravité du corps (soit, par exemple, le point L) du côté opposé à l'aire BC sur laquelle repose le grave, celui-ci tombera nécessairement. En effet, d'après la définition du centre de gravité, le poids CLG est égal au poids CLA ; le poids du volume CGH surpassera donc le poids du

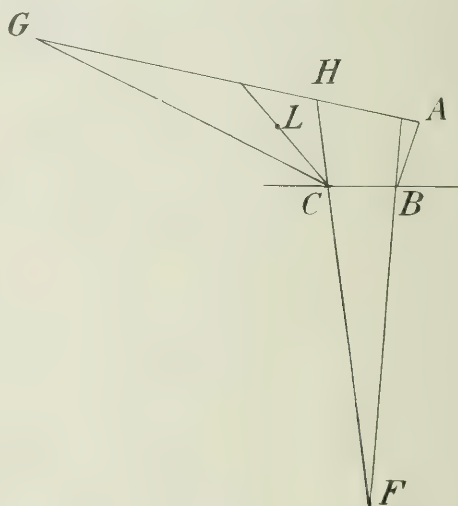


fig. 101.

volume CHA. Le volume le plus pesant entraînera donc le moins pesant. Le corps tombera donc du côté G, car c'est de ce côté que se trouve le centre de gravité et, partant, le plus grand poids. »

Léonard avait, en méditant sur les *Questions* d'Albert de Saxe, rencontré un cas particulier de cette question capitale ; il en avait donné une justification toute semblable à celle que l'on vient de lire. D'ailleurs, bien que ses notes ne nous offrent point de formule de la proposition générale, celle-ci ne lui était point demeurée inconnue, puisque, dans le *Traité de la Peinture*, il en fait de conti-

nuelles applications ; comment douter que Villalpand ne l'ait copiée dans le *Traité du Mouvement local* rédigé par le grand peintre ?

Léonard a tiré de cette proposition, soit en ses manuscrits, soit au *Traité de la Peinture*, de fort nombreux corollaires relatifs à la station de l'homme et des animaux ; ce sont ces applications qui intéressent surtout Villalpand ; mais ces applications, il les emprunte, elles aussi, à Léonard ; en pourrions-nous douter en lisant (1), par exemple, ces propositions ?

« Lorsqu'un homme se tient sur ses pieds de telle sorte que la verticale issue du bout du pied sur lequel il s'appuie passe par le centre de gravité, il ne pourra, du côté vers lequel il penche, lever le bras sans tomber, car ce bras étendu joue le rôle d'un bras de levier plus grand ou d'un poids qui pèse d'autant plus qu'il s'écarte davantage du centre de la balance.

« Un homme ne saurait s'incliner en avant, en arrière, ou de côté, que la verticale issue du point extrême de la base sur laquelle il s'appuie ne passe par le centre de gravité de son corps ; ou bien encore que ce centre de gravité ne surplombe cette base ; sinon, cet homme tombera.

« Pour qu'un homme assis puisse se lever, il faut qu'il rapproche les pieds du siège et qu'il avance la tête. »

Parmi ces corollaires, arrêtons un instant notre attention sur celui-ci (2) :

« Lorsqu'un oiseau vole, la verticale qui passe par le milieu de la surface des ailes, passe aussi par le centre de gravité du corps... Lorsqu'il désire élever la partie antérieure de son corps et abaisser la partie postérieure, il porte en avant ses ailes, c'est-à-dire la base qui le supporte. Il les retire en arrière, au contraire, lorsqu'il veut diriger son sol vers le bas. Par là, il parvient à changer en son corps la position du centre de gravité. »

(1) Villalpand, *loc. cit.*, propp. VIII, IX et X ; pp. 108 et 109.
(2) Id., *ibid.*, prop. XIII, p. 324.

Cette dernière proposition est une de celles qui ont le plus constamment sollicité l'attention de Léonard ; Rappelons comment il la formulait (1) : « ... Cecy est dit principalement pour le mouvement des oyseaux, lesquels sans aucun battement d'aisles ou sans estre aidez du vent, se remuënt d'eux mesmes ; et cela arrive quand le centre de leur pesenteur est hors du centre de leur soustien, c'est à dire hors du centre de l'estenduë de leurs aisles, parce que si le milieu des deux aisles est plus en avant ou plus en arrière que le milieu ou le centre de pesenteur de tout l'oyseau, alors cet oyseau portera son mouvement en haut ou en bas, mais d'autant plus ou moins en haut qu'en bas, que le centre de sa pesenteur sera plus loin ou plus près du milieu des aisles, c'est à dire que le centre de la pesenteur estant esloigné du milieu des aisles, il fait que la descente de l'oyseau est fort oblique, et si ce centre est voisin des aisles, la descente de l'oyseau aura peu d'obliquité. »

Transcrite dans l'ouvrage de Villalpand, cette proposition y garde d'autant mieux la marque du grand peintre qu'elle y est un véritable hors-d'œuvre, sans aucune utilité pour l'objet que se propose le savant jésuite.

Nous pouvons donc, sans hésitation, attribuer au Vinci les théorèmes de Villalpand sur le centre de gravité et les applications que cet auteur en a faites à la station de l'homme et des animaux ; nous pouvons, en particulier, lui attribuer cette proposition (2) :

« Un quadrupède demeure en équilibre lorsque son centre de gravité se trouve sur une verticale issue de l'un des points extrêmes de la surface qui passe par ses pieds, ou bien lorsqu'il se trouve, par rapport à cette verticale, du même côté que cette surface de base. »

Or cette proposition n'est autre chose que le classique

(1) *Traité de la Peinture* de Léonard de Vinci, Ch. CXCVI, p. 64.
(2) Villalpand, *loc. cit.*, prop. XII, p. 324.

théorème sur le *polygone de sustentation*, enseigné aujourd'hui dans tous les cours élémentaires de Statique. C'est donc à Léonard de Vinci qu'il faut remonter pour trouver l'inventeur de cette loi, familière au moindre bachelier ; Villalpand n'a fait que nous transmettre, en se l'appropriant, la découverte du grand peintre.

Insérés dans un ouvrage d'archéologie, annexé lui-même à un livre d'exégèse, les théorèmes de Villalpand, traduction fort peu modifiée d'un cahier de Léonard, fussent sans doute demeurés presque ignorés des géomètres si, en 1626, le P. Mersenne ne les eût compris dans son *Synopsis mathematica*. C'est vraisemblablement à cet écrit que bon nombre de mécaniciens du XVIIe siècle les empruntèrent pour les exposer dans leurs traités de Statique.

Mais en insérant dans ses *Mechanicorum libri* (1) les propositions de Villalpand (qu'il nomme Villapandus), Mersenne les associait à un grand nombre d'énoncés, les uns empruntés peut-être à Guido Ubaldo et à d'autres auteurs, les autres, imaginés par lui-même ; et quelques-uns de ces énoncés impliquaient adhésion plus ou moins formelle à l'hypothèse selon laquelle le centre de gravité de chaque corps tend à s'unir au centre commun des choses pesantes. Les efforts de Mersenne ne sont donc point du tout orientés dans le même sens que ceux de Villalpand.

Ce n'est pas que les assertions de Mersenne à ce sujet soient exemptes de toute hésitation ; son ouvrage, simple compilation, reflète les divergences d'opinions d'auteurs multiples.

(1) Nous avons déjà parlé, au Chapitre XIII, § I, du *Synopsis mathematica* de Mersenne et des *Mechanicorum libri* qu'il renferme. Le premier de ces livres est intitulé : *De gravitatis et Universi centro*. Quatre parties le composent. La première est ainsi définie : *Continens definitiones et ea quæ spectant ad centrum Universi*. La seconde reproduit les propositions du traité de Commandin. La troisième celles du traité de Luca Valerio. La quatrième partie est intitulée : *De linea directionis et reliquis ad centrum gravitatis pertinentibus*. Elle reproduit d'abord les théorèmes de Villalpand (Prop. I à Prop. XIV), puis six propositions, données sans nom d'auteur.

Cette allure hésitante se marque dès la première définition (1) : « La *gravité* est cette vertu du corps grave par laquelle il tend et s'efforce vers le bas ; elle semble découler de l'appétit qui porte le grave vers sa propre conservation ; certains, cependant, préfèrent supposer que la descente des corps graves provient d'une qualité attractive appartenant à la Terre, cette qualité étant soit magnétique, soit d'autre nature. »

« Le centre de l'Univers (2) est ce point vers lequel tous les graves se portent en ligne droite ; il y a un centre commun de tous les graves ; du moins, en suppose-t-on communément l'existence, bien qu'il ne soit pas possible de la démontrer ; car il est probable qu'il existe un centre spécial de gravité en chacun des systèmes particuliers qui composent l'Univers ou, en d'autres termes, en tous les plus grands corps ; il est donc bon de ne rien affirmer à la légère du centre de l'Univers... »

L'influence de Copernic est manifeste en ce passage ; celle de Képler, dont nous aurons à parler plus loin (Ch. XVI, § 1), a peut-être inspiré la dernière ligne de celui que nous allons citer :

« Nous supposerons que tous les graves désirent le milieu du Monde, et qu'ils se portent vers lui naturellement en ligne droite. Ce principe est accordé presque universellement ; cependant, il n'a jamais été démontré. Qui sait si les parties d'un astre, arrachées à cet astre, gravitent et si elles retournent vers l'astre auquel elles appartiennent ? Qui sait également si les pierres, soulevées vers un astre, reviennent à la Terre ? Des pierres qui seraient, par exemple, plus proches de la Lune que de la Terre descendraient-elles sur la Terre ou sur la Lune ? »

Mersenne reproduit toutes les définitions et tous les énoncés donnés par Villalpand au sujet du centre de gravité et de la *ligne de direction*. Les propriétés de cette

(1) Mersenne, *Mechanicorum libri*, p. 4.
(2) Id. *ibid.*, p. 7.

ligne, les applications que l'on en peut faire à l'équilibre des édifices et à la station de l'homme lui paraissent, d'ailleurs, assez intéressantes pour qu'il leur consacre, quelques années plus tard, une de ses *Questions théologiques, physiques, morales et mathématiques* (1), publiées en même temps que les *Préludes de l'Harmonie Universelle* et les *Méchaniques de Galilée* ; mais ce qu'il en dit alors n'est plus emprunté à Villalpand ; l'ouvrage de Bernardino Baldi, dont nous parlerons au § suivant, en a fait les frais.

Les corollaires à forme étrange et saisissante qu'Albert de Saxe avait tirés de la rotondité de la Terre étaient bien propres à attirer l'attention du P. Mersenne, dont l'imagination se plaisait aux propositions d'allure paradoxale. Dès 1625, Mersenne introduisait quelques-uns de ces corollaires dans son ouvrage sur *La Vérité des Sciences contre les Sceptiques ou Pyrrhoniens* (2) ; dans ce dialogue, nous voyons le Sceptique qui tente d'embarrasser le Philosophe par cette question : « Puisqu'il vous plaist me faire cette offre, je vous prie de me dire combien un homme haut de 6 pieds feroit plus de chemin avec la teste qu'avec les pieds, s'il faisoit le circuit de la Terre ; et combien deus fillets, ou deus chordes, pendues au sommet d'une tour haute d'une lieuë seroient plus proches l'un de l'autre lorsqu'ils atteindroient la Terre que quand ils seroient au haut de la dite tour. » A quoi le Philosophe répond : « Ces difficultez sont fort faciles à résoudre », et il en donne la solution.

Mersenne reprend ces propositions dans son *Synopsis* ;

(1) *Les Questions théologiques, physiques, morales et mathématiques*, où chacun trouvera du contentement et de l'exercice, composées par L. P. M. ; à Paris, chez Henry Guenon, ruë Sainct-Jacques, près les Jacobins, à l'image Sainct-Bernard. MDCXXXIV. Question VIII, p. 32.

(2) *La Vérité des Sciences contre les Sceptiques ou Pyrrhoniens*, dédié à Monsieur, frère du Roy, par F. Marin Mersenne, de l'ordre des Minimes ; à Paris, chez Toussainct du Bray, ruë Sainct-Jacques, aux Epicsmeurs, MDCXXV ; p. 871.

il y joint cette autre (1), qui est bien dans l'esprit des doctrines d'Albert de Saxe :

« Si Dieu supprimait un des hémisphères de la Terre, celui que définit notre horizon astronomique, la surface plane restante serait la moitié de l'hémisphère enlevé ; néanmoins un seul homme pourrait habiter sur cette surface ; les autres hommes tomberaient et se rueraient vers le centre, à supposer toutefois que cette section n'ait pas changé le centre de l'Univers. Nous ne pourrions nous promener à la surface de la Terre, si elle était plane, car il faudrait que notre centre de gravité montât naturellement. »

La pensée indiquée à la fin de ce passage se trouve plus nettement marquée en cet autre (2) :

« Jamais le centre de gravité d'un corps quelconque ne monte naturellement ; il monte seulement par violence ; sans quoi la moitié de la gravité du corps, ou même une fraction plus grande monterait, ce qui ne se peut ; ... jamais une partie du corps ne monte, si ce n'est que la partie descendante l'emporte sur elle... La vérité de ce théorème apparaît dans le mouvement de circonvolution d'un globe qui tombe ; certaines parties de ce corps montent, mais le centre de gravité descend continuellement. » La proposition ainsi énoncée renferme évidemment un principe de Statique, celui-là même qui sera le principe de Torricelli ; Mersenne le reconnaît et, du principe énoncé, il mentionne aussitôt deux applications :

« La vérité de ce théorème apparaît clairement... lorsque l'on voit des sabres, des couteaux au d'autres instruments, fichés dans un bâton posé obliquement, demeurer suspendus ; en effet, le poids total ne peut tomber tout à la fois, car il est soutenu d'un côté ; et d'autre part, il ne peut tomber d'un certain côté, car la partie qui tombe devrait

(1) Mersenne, *Mechanicorum libri*, p. 112.
(2) Id., *ibid.*, p. 111.

faire monter une partie aussi grave ou plus grave qu'elle même, ce qui ne se peut ».

« C'est encore à ce principe qu'il faut avoir recours pour expliquer comment un seau plein d'eau ou de quelque autre liquide peut demeurer sans tomber lorsqu'on l'accroche à l'extrémité d'un bâton dont l'autre extrémité est soutenue, pourvu qu'un second bâton se trouve inséré entre le fond du seau et la partie opposée du premier bâton ; en effet, si ce seau ou tout autre vase venait à tomber, le centre de gravité monterait ».

Le second cas d'équilibre cité par Mersenne nous est bien connu ; c'est le cas d'équilibre absurde présenté par Cardan ; il semble donc que Mersenne ait eu en mains un document erroné tout semblable à celui qui a trompé Cardan.

Quant au premier cas d'équilibre mentionné par Mersenne, il nous est également bien aisé de le reconnaître ; c'est le premier des deux cas d'équilibre imaginés par Léonard de Vinci, celui auquel est consacré la figure 98^b ; seulement, tandis que Léonard a mis, en C, un contrepoids de nature indéterminée, Mersenne a placé un couteau ou une épée.

Cette dernière constatation nous semble fortifier singulièrement l'hypothèse que nous avons émise, à savoir que le document consulté par Cardan, puis par Mersenne tirait son origine des notes de Léonard, comme le traité exploité par Villalpand, comme les réflexions reproduites par Bernardino Baldi.

Une dernière question : Des deux cas d'équilibre imaginés par Léonard de Vinci, n'existait il que l'exposition erronée dont Cardan et Mersenne ont eu connaissance ? Il nous paraît probable, au contraire, que l'altération rendant absurde le second cas d'équilibre s'est produite en quelque copie de seconde main, tandis que d'autres copies demeuraient correctes.

Voici ce qui nous fait émettre cette supposition :

Les grands traités de Mécanique composés par les Jésuites en la seconde moitié du XVII[e] siècle (1), le traité du P. De Challes, le traité du P. Casati, trahissent souvent une influence directe de Léonard ; il semble que des cahiers, conservant la pensée du grand peintre, existassent encore à ce moment au Collège Romain ou au Collège des Jésuites de Lyon.

Or le traité du P. De Challes donne (2) un exposé très correct du second cas d'équilibre imaginé par Léonard ; il l'explique, comme Léonard semble l'avoir fait tout d'abord, en observant que le centre de gravité du système se projette en la partie qui repose sur l'appui. Il connaît également la forme sous laquelle Cardan et Mersenne ont présenté ce cas d'équilibre ; mais il observe fort justement qu'alors l'équilibre ne peut se maintenir, à moins que la partie du bâton qui repose sur la table ne soit très longue et très lourde, cas auquel l'équilibre perd tout caractère paradoxal.

Qu'il faille donc remonter jusqu'à Léonard de Vinci pour trouver l'inventeur du principe de Statique attribué par Lagrange à Torricelli, cela nous paraît vraisemblable. En tous cas, ce principe est nettement formulé par Cardan et par Mersenne. Assurément, les applications qu'en font ces deux auteurs sont bien particulières et, parfois, peu exactes ; mais Bernardino Baldi et Galilée vont en tirer des conséquences plus intéressantes.

Terminons nos citations de Mersenne par cette proposition (3) où se trouve énoncée, à la suite d'une vérité, une erreur que Torricelli a reproduite et que nous avons signalée en l'article 1 ; nous y verrons peut-être l'indice

(1) Voir : Chapitre XVII ; 4. Les grands traités de Statique de l'École jésuite. — Le P. De Challes (1621-1678). — Le P. Paolo Casati (1617-1707).

(2) R. P. Claudii Milliet Dechales, Camberiensis, e Societate Jesu, *Cursus seu Mundus mathematicus*. Editio altera ; Lugduni, apud Anissonios, Joan. Posuel et Claud. Rigaud. MDCLXXXX. — Tomus II, Staticæ lib. VIII, prop. IV, p. 364.

(3) Mersenne, *Mechanicorum libri*, p. 114.

d'une influence exercée sur l'esprit de Torricelli soit par l'écrit de Mersenne, soit par les sources auxquelles celui-ci avait puisé :

« Si un corps est suspendu en un point de la ligne de direction situé au-dessus du centre de gravité, ce point revient au premier état lorsqu'on l'en écarte ; s'il est suspendu par un point situé au-dessous du centre de gravité, il s'éloigne de sa position primitive lorsqu'on l'en a une fois dérangé ; mais lorsqu'il est suspendu par le centre de gravité, il demeure en équilibre dans n'importe quelle position... C'est pourquoi les balances demeurent en n'importe quel état ou situation lorsque le point de suspension coïncide avec le centre de gravité ; elles reviennent à l'équilibre lorsque le point de suspension est au dessus du centre de gravité ; enfin elles décrivent un cercle complet lorsque le point de suspension est au-dessous du centre de gravité. »

10. *La tradition de Léonard de Vinci : Bernardino Baldi*

L'ouvrage de Villalpand avait cessé d'être récent lorsque parurent, en 1621, les *Exercices sur les Questions mécaniques d'Aristote* de Bernardino Baldi (1) ; cet écrit, cependant, était plus vieux que le volumineux travail des PP. Prado et Villalpand ; l'abbé de Guastalla, célèbre par sa prodigieuse érudition, qui l'avait composé était mort en 1617, quatre ans avant que l'impression en fût faite ; cette impression avait été menée à bien par les soins de Fabritio Scharloncini, et celui-ci avait fait précéder les *Exercices* de Baldi d'une courte et intéressante

(1) Bernardini Baldi Urbinatis, Guastallæ Abbatis, *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes, adjecta succincta narratione, de Autoris vita et scriptis*. Moguntiæ, typis et sumptibus Viduæ Joannis Albini. MDCXXI.

notice sur les travaux de l'auteur ; nous apprenons en cette notice que Bernardino Baldi d'Urbin avait composé ses *Exercices* dès 1582 ; il était alors l'ami et le familier de Guido Ubaldo del Monte.

Guido Ubaldo venait de donner, en 1577, son *Mecanicorum liber* qui, pendant un siècle, allait avoir la plus grande vogue ; il se préparait à y joindre, en 1588, son traité intitulé : *In duos Archimedis æquiponderantium libros paraphrasis ;* il était en la période la plus active de sa vie de mécanicien. Il n'est donc point douteux que les doctrines mécaniques du marquis del Monte n'aient influé sur celles qu'expose Bernardino Baldi ; bien loin, d'ailleurs, de nier cette influence, Baldi se plaît à citer, à maintes reprises, le nom de son ami.

Les connaissances mécaniques de l'infatigable érudit ont d'autres sources encore que le *Mecanicorum liber* de Guido Ubaldo et, parmi ces sources, il en est qu'il nous fait connaître. Telle, en premier lieu, la traduction des *Questions mécaniques* d'Aristote, donnée, avec de brefs commentaires, par Nicolas Leoniceni (1) ; telle, encore, la savante et importante *Paraphrase* des mêmes *Questions mécaniques* publiée, en 1547, par Alexandre Piccolomini. Baldi va même jusqu'à nous apprendre, en sa préface, que le bruit des recherches du Hollandais Simon Stevin est venu jusqu'à lui, mais qu'il n'a point vu les travaux de cet auteur ; et, en effet, la Statique de Simon Stevin, rédigée en flamand, ne fut imprimée qu'en 1586 ; ainsi, quatre ans avant qu'elles ne fussent imprimées, les recherches du grand géomètre de Bruges étaient annoncées en Italie.

Mais il est une influence que Baldi a profondément

(1) Nicolai Leonici *(sic)* Thomæi *Opuscula nuper in lucem edita quorum nomina proxima habentur pagella... Conversio mechanicorum quæstionum Aristotelis, cum figuris et annotationibus quibusdam.* In fine : Opusculum hoc ex impressione repræsentavit Bernardinus Vitalis Venetus, Anno Domini MCCCCCXXV, Die XXIII Februarii, ex Venetiis.

éprouvée et que, cependant, il ne cite pas : c'est l'influence de Léonard de Vinci (1).

Toute occasion semble bonne à Baldi pour exposer, en marge d'Aristote, les remarques qui lui sont suggérées par les notes de Léonard ; au grand peintre il emprunte son explication de la formation des tourbillons au sein des eaux courantes, sa théorie de la résistance des matériaux, de la poussée des arcs et des voûtes, enfin, bon nombre de points essentiels de sa Dynamique. Mais ce n'est point ici le lieu d'étudier tous ces emprunts ; nous les avons analysés en un autre écrit ; nous nous bornerons, au présent ouvrage, à montrer comment la Statique de Baldi découle de celle de Vinci.

Dès le début de sa Mécanique, Baldi se range, comme son ami Guido Ubaldo del Monte, au nombre des disciples d'Albert de Saxe. Il déclare (2) que « tout ce qui est grave pèse en un point que l'on nomme centre de gravité ».

Nous ne nous étonnerons pas, dès lors, de retrouver, dans les *Exercices* de Baldi, presque tous les théorèmes que Villalpand avait empruntés à Léonard et qu'il avait si curieusement insérés en sa description de la Judée.

De ces théorèmes, Baldi en donne quelques-uns dans le chapitre (3) où il examine cette question d'Aristote : Si deux hommes portent un poids suspendu à un bâton, pourquoi celui qui est moins distant du fardeau supporte-t-il une charge plus grande ?

Cette question l'amène, en effet, à se demander pourquoi ceux qui portent un grand poids marchent courbés, et à répondre qu'ils prennent cette position pour mettre leur centre de gravité dans la verticale du point d'appui.

Il commence alors à développer ces considérations sur

(1) Cf. P. Duhem, *Léonard de Vinci et Bernardino Baldi* (Bulletin Italien, t. V, p. 309, octobre 1905).

(2) Bernardini Baldi *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes*, p. 1.

(3) Bernardino Baldi, *loc. cit.*, Quæst. XXIX, p. 162.

les diverses postures de l'homme et des animaux que Léonard avait esquissées, au cahier *A*, puis plus complètement exposées au *Traité de la peinture*. Ces considérations, Baldi les poursuit au chapitre suivant (1), où il examine cette question d'Aristote : Pourquoi ceux qui sont assis et veulent se lever placent-ils les jambes de telle sorte qu'elles fassent un angle aigu avec les cuisses, et rapprochent-ils de même la poitrine des cuisses ? Cette question était précisément la première (2) que Léonard de Vinci eût cherché à résoudre par la considération du centre de gravité.

Baldi explique en détail la solution de Léonard ; il rend compte d'une manière analogue de diverses allures de l'homme et des animaux ; il n'oublie pas, d'ailleurs, d'appliquer la même théorie aux objets inanimés ; l'exemple du trépied (3) le conduit à formuler la loi du polygone de sustentation. L'équilibre des tours penchées, telles que la tour de Pise et la tour de Garisendi à Bologne, est traité presque dans les mêmes termes qu'au livre de Villalpand.

Ce n'est point en ce livre, cependant, que Baldi a pu lire les théorèmes de Léonard ; l'œuvre de l'abbé de Guastalla était achevée bien avant que ne parût celle du savant jésuite. Il n'est pas admissible non plus que Villalpand n'ait eu des théorèmes de Léonard qu'une connaissance indirecte, par la communication d'une copie manuscrite des *Exercitationes* de Baldi ; certains passages donnés par Villalpand, tel le passage si caractéristique sur le vol des oiseaux, ne se trouvent pas dans le livre de Baldi. Baldi et Villalpand ont dû puiser tous deux leurs connaissances à une source commune, et cette source devait être soit un manuscrit de Léonard, soit un cahier copié

(1) Bernardino Baldi, *loc. cit.*, Quæstio XXX, 166.

(2) *Les Manuscrits de* Léonard de Vinci ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 28, verso.

(3) Bernardini Baldi *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes*, p. 172.

sur les notes du grand peintre. Il se peut, d'ailleurs, que Villalpand ait tenu de Baldi la connaissance de ce document ; selon Scharloncini, Baldi s'était occupé, lui aussi, de la description du temple d'Ézéchiel et avait composé un traité sur ce sujet ; il ne serait point surprenant qu'il eût été mis, à cette occasion, en rapport avec les deux savants jésuites qui consacraient leur vie au commentaire d'Ézéchiel.

Baldi ne s'est pas contenté des théorèmes de Statique que Villalpand a exposés ; il a donné encore un bon nombre d'autres propositions relatives à cette branche de la Mécanique ; presque toutes ces propositions, il les a justifiées en les rattachant à ce principe fondamental : Le centre de gravité d'un corps ne peut, sans violence, s'écarter du centre de l'Univers.

Il semble bien que Baldi, inspiré sans doute par les notes de Léonard de Vinci, ait, le premier après Cardan, et plus formellement que lui, publié la généralité de ce principe de Statique. Il s'en sert (1) pour expliquer certains cas d'équilibre. Il va plus loin, et il donne le produit du poids du corps par la hauteur dont le centre de gravité a été élevé comme mesure de l'effort nécessaire pour faire chavirer un corps. On comprend ainsi (2) pourquoi de deux colonnes de forme identique, mais de poids inégal, la plus lourde est la plus difficile à renverser. On comprend aussi pourquoi la figure circulaire est la plus apte au mouvement (3) ; « lorsqu'une roue circulaire roule sur un plan horizontal, son centre de gravité ne s'écarte à aucun moment du centre du Monde ; c'est pourquoi ce mouvement est si facile » ; « il en est autrement d'une roue qui n'a pas la figure circulaire ; son mouvement souffre des inégalités, car, tandis qu'elle roule, son centre

(1) Bernardino Baldi, *loc. cit.*, p. 176.
(2) Id., *ibid.*, p. 84.
(3) Id., *ibid.*, p. 60.

de gravité ne garde pas toujours même distance au centre du Monde ».

Cet axiome est vraiment, selon Baldi, celui qui doit porter toute la Mécanique ; cette opinion se trahit maintes fois en son langage : « Cette démonstration du Philosophe est vraie, dit-il (1), mais elle n'est pas tirée des principes propres de la Mécanique, c'est-à-dire de la considération du centre de gravité. »

L'application la plus intéressante que l'abbé de Guastalla ait donnée de son principe général est assurément la discussion de la stabilité de la balance ; le géomètre du XIIIe siècle que nous avons nommé le Précurseur de Léonard de Vinci en avait, il est vrai, distingué les principaux cas, et tous les éléments de cette discussion se rencontrent épars dans les notes de Léonard ; nous les trouvons ordonnés dans les *Exercitationes* de Baldi (2) et constamment ramenés à l'étude du déplacement du centre de gravité.

La balance dont le point de suspension est au-dessus du centre de gravité du fléau est en équilibre stable, car un dérangement imposé à cette balance fait monter le centre de gravité ; si l'on supprime le poids additionnel qui avait produit ce dérangement, le centre de gravité reviendra à sa position primitive.

Inversement, si le point de suspension est au-dessous du centre de gravité du fléau, l'équilibre de la balance est instable, car le moindre dérangement fait descendre le centre de gravité.

Enfin si le point de suspension coïncide avec le centre de gravité du fléau, l'équilibre de la balance est indifférent ; cela résulte de la définition même du centre de gravité que Pappus a donnée.

A l'étude de la stabilité de la balance, Baldi joint

(1) Bernardino Baldi, *loc. cit.*, p. 20 et p. 31.
(2) Id., *ibid.*, Quæstio II, pp. 18-34.

l'étude, alors nouvelle, de la sensibilité de cet instrument et il marque quelque fierté de son innovation ; cette étude de la sensibilité, il la tire encore de la considération du déplacement subi par le centre de gravité lorsqu'on écarte la balance de sa position d'équilibre stable ; ce qu'il en dit n'est pas absolument correct, mais il y a fort peu à faire pour en éliminer les erreurs ; l'une d'elles, d'ailleurs, semble un simple lapsus, attribuable peut-être à un copiste.

Voici en quels termes Baldi introduit (1) la considération de la sensibilité de la balance :

« Montrons, ce que nul n'a remarqué avant nous, que les balances dont le point de suspension se trouve plus haut que le centre de gravité du fléau sont de telle nature qu'elles ne sont pas mises en mouvement par n'importe quel poids additionnel ou, du moins, qu'elles ne subissent pas une inclinaison totale.

» La balance, en effet, étant de cette espèce, ajoutons un poids en l'un des plateaux ; si ce poids est capable de surmonter la résistance que lui oppose le centre de gravité, obligé de monter contre nature, la balance se mettra en mouvement. Mais si ce poids est trop peu important pour vaincre cette résistance qu'oppose le centre de gravité lorsqu'il se tient au voisinage de sa plus basse position, la balance ne se mettra pas en mouvement ou, du moins, ne se déplacera que très peu. »

Baldi ajoute que la résistance opposée par la balance au déplacement est d'autant plus grande que le centre de gravité est plus voisin du point de suspension, et qu'elle est d'autant plus aisément vaincue par un poids donné que les bras du fléau sont plus longs. A la première de ces deux propositions, il faut substituer la proposition inverse ; il suffit, pour s'en convaincre, de reprendre la démonstration même de Baldi en supprimant quelques inexactitudes qui la font dévier.

(1) Bernardino Baldi, *loc. cit.*, p. 14.

Baldi ajoute encore (1), en étudiant les balances dont le point de suspension se trouve plus bas que le centre de gravité du fléau : « Ces balances ont la propriété de s'incliner complètement, quelque petite que soit la surcharge que l'on mette en l'un quelconque des plateaux ; nous avons vu que cela n'arrivait pas aux balances qui ont le point de suspension en haut. »

Or, en ce point au moins, et malgré ses prétentions à l'originalité, Baldi ne faisait que reproduire une affirmation de Léonard de Vinci ; cette affirmation, nous en retrouvons l'ébauche au cahier *A* (2), à côté de remarques sur la résistance de l'arc ogival et de l'arc surbaissé ; et ces remarques, elles aussi, ont inspiré Baldi. Voici en quels termes s'exprime Léonard :

« *Pourquoi la balance ne chasse pas sous son pôle [point d'appui] le plus grand poids placé à l'une de ses extrémités.* — Si le pôle était avec le centre du volume de la balance comme il est au milieu de la longueur, et que le centre du poids fût avec le centre du volume, le poids le plus grand tomberait sous le centre de la balance. »

Léonard de Vinci sait d'ailleurs que cette *folie* est particulière aux balances dont le centre de gravité coïncide avec le point de suspension. Quelques pages plus loin (3), il propose une « espèce de balance » dont le fléau a la forme d'un triangle équilatéral pivotant autour d'un de ses sommets ; l'écart entre la médiane issue de ce sommet et la verticale permet d'apprécier la différence entre les poids que portent les deux autres sommets.

Léonard a donc pu inspirer à Baldi tout ce que celui-ci a dit de la stabilité et de la sensibilité de la balance ; il lui a assurément fourni sa théorie du plan incliné.

Nous avons vu combien la détermination de la pesan-

(1) Bernardino Baldi, *loc. cit.*, p. 33.

(2) *Les Manuscrits de* Léonard de Vinci ; Ms. A de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 50, verso.

(3) Léonard de Vinci, *loc. cit.*, fol. 52, recto.

teur apparente d'un grave placé sur un plan incliné avait préoccupé Léonard ; de ce problème il a proposé des solutions variées, les unes conduisant à une règle exacte, les autres à une formule erronée.

Il est, en particulier, une démonstration, imitée de Pappus, à laquelle Léonard est revenu à plusieurs reprises (1) ; assurément illogique, elle conduit cependant au résultat exact et correctement établi dès le XIIIe siècle. Cette démonstration a, d'ailleurs, plusieurs fois attiré notre attention (2). Or, cette démonstration, l'abbé de Guastalla se l'approprie en entier (3). Il va même jusqu'à reproduire les incertitudes et les tâtonnements de la pensée de Léonard ; dans l'une des expositions (fol. 21, verso) qu'il nous a laissées de son étrange démonstration, Léonard suppose que le corps que l'on fait rouler sur le plan incliné soit une roue pleine ; en l'autre (fol. 52, recto), il suppose que ce soit une sphère ; or Baldi commence sa démonstration par ces mots : « Soit une roue ou une sphère... » ; il ne s'était guère efforcé, sans doute, à faire disparaitre la marque du grand inventeur dont il plagiait les pensées.

Comme la démonstration de Pappus, qui l'a sans doute inspirée, la démonstration de Léonard est une tentative pour ramener le problème du plan incliné au problème du levier ; cette réduction sera donnée sous une forme correcte par Galilée (voir Chapitre XI), puis par Roberval (voir Chapitre XIII, § 2).

Or, il est remarquable que la démonstration logique de Galilée et de Roberval conduise à tracer exactement la même figure, à faire identiquement le même calcul que

(1) Léonard de Vinci, *loc. cit.*, fol. 21, verso et fol. 52, recto.

(2) Voir : Chapitre II, fig. 8 ; Chapitre VIII, § 3, fig. 56 ; Chapitre XV, fin du § 6.

(3) Bernardini Baldi *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes*, pp. 62-64.

la démonstration inacceptable de Léonard ; faut-il y voir la marque d'une influence exercée par celui-ci sur ceux-là ?

Que Galilée ait eu connaissance de la solution que le problème du plan incliné a reçue de Léonard, nous ne saurions l'affirmer, bien que cette affirmation n'ait rien d'invraisemblable. Au début de ses recherches, le jeune géomètre de Pise est le disciple et le protégé de Guido Ubaldo del Monte, dont Bernardino Baldi est à ce moment le familier ; si ce dernier possédait une copie des notes de Léonard, n'est-il point probable qu'il en ait donné communication à Guido Ubaldo et que, par celui-ci, Galilée en ait eu connaissance à son tour ? Galilée n'a-t-il pu lire les *Exercitationes* de Baldi en manuscrit, longtemps avant leur publication ?

En ce qui concerne Roberval, nous pouvons nous montrer plus affirmatifs. Mersenne, dont nous connaissons l'intime liaison avec Roberval, citait Baldi (1) en 1634 et faisait des emprunts (2) à ses *Exercitationes*. En outre, la Bibliothèque Nationale (3) possède, en manuscrit, un *Traité de Méchanique et spécialement de la conduitte et élévation des eaux, par Monsieur de Roberval*. Ce traité, dont nous aurons à nous occuper au Chapitre XVII, porte des traces bien reconnaissables de l'influence exercée sur Roberval par Bernardino Baldi (4).

La théorie du plan incliné imaginée par Léonard de Vinci et plagiée par Bernardino Baldi a donc fort bien pu inspirer à Galilée, d'une part, et à Roberval, d'autre

(1) *Les Questions théologiques, physiques, morales et mathématiques, où chacun trouvera du contentement ou de l'exercice*, composées par L. P. M. (le P. Mersenne) ; à Paris, MDCXXXIV, chez Henry Guenon, ruë Sainct Jacques, près les Jacobins, à l'image Sainct Bernard ; p. 38.

(2) Mersenne, *loc. cit.* Question VIII : *Quelle est la ligne de direction qui sert aux Méchaniques.*

(3) Bibliothèque Nationale, fonds latin, Ms. n° 7226, fol. 85, recto, à fol. 207, recto.

(4) Cf. P. Duhem, *Bernardino Baldi, Roberval et Descartes* (BULLETIN ITALIEN, t. VI, janvier 1906).

part, le procédé par lequel ils ont ramené cette théorie à la loi d'équilibre du levier.

Quoi qu'il en soit, d'ailleurs, de cette question particulière, l'étude des écrits de Villalpand et de Bernardino Baldi nous paraît mettre hors de doute certaines conclusions :

Grâce à ces écrits, bon nombre des idées émises en Statique et en Dynamique par Léonard de Vinci se trouvent communément répandues, à la fin du XVI[e] siècle et au début du XVII[e], parmi les géomètres français et italiens. C'est dans les écrits où dominent ces idées de Léonard que nous trouvons, plus ou moins nettement formulée, la tendance à fonder la Statique sur ce principe : Le centre de gravité d'un système de graves ne peut jamais monter de lui-même. En particulier, Bernardino Baldi paraît avoir clairement reconnu le rôle essentiel et la portée générale de ce principe. Il semble donc vraisemblable que Léonard de Vinci ait, le premier, imaginé de traiter la Statique par cette méthode, corollaire naturel des doctrines d'Albert de Saxe.

Nous allons voir les doctrines d'Albert de Saxe, modifiées par la révolution copernicaine, et la méthode de Statique qui en dérive, nettement formulées par Galilée.

11. *La tradition d'Albert de Saxe et Galilée. En quoi Galilée a contribué à l'invention du Principe de Torricelli*

Galilée nous apprend lui-même, en terminant la quatrième journée des *Discorsi*, qu' « il s'était appliqué à la considération des centres de gravité sur l'instance de l'Illustrissime Seigneur Marquis Guid' Ubaldo del Monte, très grand mathématicien de son temps, comme le prouvent les diverses œuvres qu'il a publiées ». C'en est assez pour que nous ne nous étonnions pas de trouver une

grande analogie entre la pensée de Galilée et celle de Guido Ubaldo (1).

Cette analogie est manifeste dans les passages suivants, qui sont extraits du traité *Della Scienza meccanica* :

« *Définitions*. Nous appelons gravité cette tendance à se mouvoir naturellement en bas que l'on retrouve dans tous les solides, en raison de la plus ou moins grande quantité de matière dont ils sont formés...

» Par définition, le centre de gravité est, en tout corps grave, ce point autour duquel se trouvent des parties d'égal *momento* ; si nous imaginions qu'un tel grave soit soutenu et suspendu par ce point, les parties qui sont à droite font équilibre à celles qui sont à gauche, les parties qui sont en avant à celles qui sont en arrière, les parties qui sont dessus à celles qui sont dessous ; pourvu donc qu'il soit suspendu par ledit centre, il demeurera immobile de quelque manière qu'on le veuille placer ou disposer ; c'est aussi ce point qui tend à s'unir au centre universel des choses graves, c'est-à-dire à celui de la Terre, lorsque le corps peut tomber librement dans un milieu quelconque. Au sujet de ce point, nous ferons les suppositions suivantes :

» *Suppositions*. Tout grave... se meut vers le bas de telle sorte que son centre de gravité ne sorte jamais de

(1) D'ailleurs, l'influence de Guido Ubaldo, unie à celle de Bernardino Baldi, s'exerçait puissamment à l'époque de Galilée ; les écrits de Monantholius et du P. Mersenne nous en sont garants ; nous en trouvons un nouveau témoignage en lisant les Commentaires aux *Questions mécaniques d'Aristote* de Jean de Guevara (*a*) : lorsque celui-ci enseigne (*b*) « que toute la gravité d'un corps pesant se trouve réunie en son centre de gravité, qu'elle s'y ramasse de telle sorte qu'il ne semble plus y avoir de gravité dans le reste du corps », c'est à Guido Ubaldo del Monte et à Baldi qu'il emprunte la plupart des commentaires dont il accompagne cette pensée ; d'ailleurs, il cite continuellement ces deux auteurs.

(*a*) Joannis de Guevara, cler. reg. min., *in Aristotelis mechanicas commentarii, una cum additionibus quibusdam ad eandem materiam pertinentibus ;* Romæ, apud Jacobum Mascardum, MDCXXVII.

(*b*) Guevara, *loc. cit.*, Additio secunda : De centro gravitatis naturaliq. mobilitate gravium et levium ; p. 67.

la ligne droite qui joint le point où ce centre se trouvait au premier instant du mouvement avec le centre universel des choses graves ; cette supposition est très manifestement exacte ; puis, en effet, que c'est ce centre, et ce centre seulement, qui tend à s'unir avec le centre commun, il est nécessaire, lorsqu'il n'est point empêché, qu'il aille le trouver par la ligne la plus courte, qui est la seule ligne droite.

» Au sujet de ce centre nous pouvons faire encore cette seconde supposition : Tout corps grave gravite principalement en son centre de gravité, en sorte que tout l'*impeto*, toute la pesanteur, en un mot, tout le *momento* de ce corps se recueille en ce point comme en son propre domaine. »

Le P. Mersenne, offrant « à Monsieur, Monsieur de Reffuge, conseiller du Roy au Parlement », sa traduction des *Méchaniques de Galilée* où ces suppositions sont reproduites, remarque (1) que « les Méchaniques peuvent enseigner à bien vivre, en imitant les corps pesans qui cherchent leur centre dans celuy de la Terre, comme tousjours l'esprit de l'homme doit chercher le sien dans l'essence divine, qui est la source de tous les esprits ».

La doctrine de la gravité conçue par Albert de Saxe, formulée avec netteté par Guido Ubaldo et par Bernardino Baldi, a pris dans l'écrit de Galilée une entière précision. Sa fécondité va s'accroître encore par les méditations de l'illustre prisonnier du Saint-Office.

Accablé, par la condamnation du tribunal ecclésiastique, par sa réclusion, par son grand âge, par la maladie, par la cécité, Galilée s'était retiré, avec la permission de l'Inquisition, dans une villa sise à Arcetri, près de Florence. Là, il était entouré de soins filiaux de la part d'un

(1) *Les Méchaniques* de Galilée Mathématicien et Ingénieur du Duc de Florence, avec plusieurs additions rares et nouvelles, utiles aux Architectes, Ingénieurs, Fonteniers, Philosophes et Artisans ; à Paris, chez Henry Guenon, MDCXXXIV.

jeune homme de seize ans, doué d'un précoce talent de géomètre ; Vincenzio Viviani commençait à rendre au vieux maître le culte qu'il devait lui garder au cours de sa longue vie. Viviani recueillait avidement les enseignements de Galilée (1) ; il sollicitait de lui des éclaircissements sur les doutes et les objections que l'étude de la Géométrie avait fait naître dans sa jeune intelligence.

Ces entretiens entre Galilée et Viviani portaient volontiers sur les *Discorsi*. Ceux-ci, en effet, venaient d'être publiés. De la rédaction, achevée en 1636, Conte, à Paris, avait reçu une copie qu'il avait portée aux Elzévirs et que ceux-ci avaient imprimée. Cette édition inattendue de son œuvre, Galilée l'avait dédiée au Comte de Noailles par une lettre écrite d'Arcetri et datée du 6 mars 1638.

La troisième journée des *Discorsi*, consacrée au mouvement local, était bien digne, par la nouveauté de la doctrine qui y était exposée, de ravir l'attention du jeune géomètre ; toutefois, elle ne satisfaisait pas complètement son amour de la rigueur ; toute la théorie reposait sur cette proposition : un grave glissant sur un plan incliné acquiert une vitesse qui dépend uniquement de la hauteur de chute et point de l'inclinaison du plan ; or, cette proposition — et c'est ce qui inquiétait Viviani — Galilée l'admettait sans démonstration (2).

(1) Vincenzio Viviani, *Vita di Galileo Galilei,* cavata da' Fasti Consolari dell' Accademia Fiorentina. (Cette vie de Galilée, reproduite dans toutes les éditions de ses œuvres, fut primitivement une lettre de Viviani au Prince Cardinal Léopold de Toscane ; elle fut insérée par l'abbé Salvino Salvi dans les *Fastes Consulaires* de l'Académie de Florence.)

(2) Viviani n'était d'ailleurs pas le seul qui eût remarqué cette lacune dans la déduction de Galilée ; le 11 octobre 1638, Descartes écrivait à Mersenne (*a*) :

« Mon Révérend Père, Je commencerai cette lettre par mes observations sur le livre de Galilée. Je trouve, en général, qu'il philosophe beaucoup mieux que le vulgaire, en ce qu'il quitte le plus qu'il peut les erreurs de l'Eschole, et tasche à examiner les matières physiques par des raisons mathématiques. En cela, je m'accorde entièrement avec luy et je tiens qu'il

(*a*) *Œuvres de Descartes*, édition Ch. Adam et Paul Tannery, *Correspondance*, t. II (mars 1638 à décembre 1639), pp. 379 et suiv.

Les doutes et les questions de Viviani allaient amener Galilée à reprendre les fondements de son œuvre.

Laissons la parole au fidèle disciple (1) : « En lisant les susdits dialogues et en arrivant au Traité des mouvements locaux, je fus saisi d'un doute que d'autres ont également éprouvé, non pas au sujet de la vérité du principe sur lequel repose toute la théorie du mouvement local, mais au sujet de la nécessité de le considérer comme connu. Je me mis à rechercher des preuves plus évidentes de cette supposition ; par là, je fus cause que Galilée, au cours d'insomnies qui, au grand détriment de sa vie, lui étaient fort habituelles, en retrouva la démonstration géométrico-mécanique ; cette démonstration dépendait d'une théorie qu'il avait établie à l'encontre d'une conclusion de Pappus, et qu'il avait exposée dans son ancien traité de Mécanique imprimé par le P. Mersenne. Il me la communiqua aussitôt, ainsi qu'à ses autres amis, qui avaient coutume de le visiter. La méthode qu'il suivait pour se guider — car, aveugle de corps, il était très clairvoyant d'esprit — dans les sentiers de ces études qu'il entendait si bien et que je poursuivais, m'imposait l'obligation de rédiger ce théorème ; car sa cécité lui rendait très difficile toute explication où intervenaient des figures et des lettres. Cette rédaction faite, nous en envoyâmes plusieurs copies, en Italie et en France, à ses amis. »

En effet, le 3 décembre 1639, Galilée écrivait au P. Castelli, professeur de mathématiques à Rome, une lettre (2) où nous lisons ce qui suit :

n'y a pas d'autre moien pour trouver la vérité... Il suppose aussy que les degrez de vitesse d'un mesme cors sur divers plans sont égaux lorsque les élévations de ces plans sont égales, ce qu'il ne prouve point et n'est pas exactement vray ; et pour ce que tout ce qui suit ne dépend que de ces deux suppositions, on peut dire qu'il a entièrement basti en l'air... »

(1) Vincenzio Viviani, *Vita di Galileo Galilei.*

(2) *Lettera di* Galileo Galilei *al P. Ab. D. Benedetto Castelli, contenente una dimostrazione d'un principio già supposto dall' Autore*

« Il y a déjà plusieurs mois, ce jeune homme, qui est actuellement mon hôte et mon disciple, m'a fait des objections contre le principe que je suppose dans mon Traité du mouvement accéléré, qu'il étudiait alors avec une grande application. Ces objections ont nécessité que je pense à ce principe, afin de le convaincre que ce principe est recevable et vrai ; de telle sorte qu'il m'arriva, à sa grande satisfaction et à la mienne, d'en trouver, si je ne me trompe, la démonstration concluante ; l'ayant mise sur pied, je la communiquai sur l'heure à plusieurs personnes. Mon disciple en fit une rédaction pour moi, car, étant entièrement privé de la vue, je me serais peut-être trompé dans les figures et dans les lettres dont j'aurais eu à me servir. Cette rédaction est mise sous forme de Dialogue et présentée comme une réminiscence de Salviati, de telle sorte que, lorsqu'on imprimera derechef mes *Discorsi e dimostrazioni*, on pourra l'insérer immédiatement après le Scholie de la seconde proposition du Traité susdit ; il y sera le théorème essentialissime pour l'établissement de la science du mouvement que j'ai proposée. Cette démonstration, je la communique par lettre à Votre Seigneurie, plutôt qu'à aucune autre personne ; j'attends en premier lieu son opinion, puis celle de nos amis qui se trouvent auprès d'Elle, avec la pensée, lorsqu'Elle m'aura donné son avis, d'en envoyer plusieurs autres copies à nos amis d'Italie et de France. »

Cette démonstration que les questions de Viviani avaient fait découvrir à Galilée, fut insérée (1) à la place marquée par lui lorsqu'en 1655, on imprima à Bologne, pour la première fois, la collection de ses Œuvres ; toutes les autres éditions l'ont soigneusement conservée.

nel suo Trattato del Moto accelerato ne' Dialoghi de' movimenti locali. (Cette lettre est reproduite dans les diverses éditions des œuvres de Galilée.)

(1) Vincenzio Viviani, *Vita di Galileo Galilei* ; voir aussi : *Opere di* Galileo Galilei, divise in quattro tomi, in questa nova edizione accresciute di molte cose inedite ; tomo primo. In Padova MDCCXLIV, nella stamparia del Seminario, appreso Gio. Manfrè. *Prefazione universale*, p. XXX.

De cette démonstration, nous avons déjà cité, au chapitre XI, plusieurs passages ; mais, à dessein, nous avions omis le suivant, qui sollicite maintenant toute notre attention :

« Il est impossible qu'un grave ou qu'un ensemble de graves se meuve naturellement en s'écartant du centre commun vers lequel conspirent toutes les choses graves ; partant, il est impossible qu'il se meuve spontanément, si, par suite du mouvement pris, son propre centre de gravité ne gagne pas en voisinage par rapport au susdit centre commun ; par conséquent sur l'horizon, c'est-à-dire sur une surface dont toutes les parties sont également éloignées du même centre et qui est, dès lors, absolument privée d'inclinaison, l'*impeto* ou le *momento* dudit mobile est nul. »

Galilée, reprenant les considérations qu'il avait développées longtemps auparavant dans son Traité *Della Scienza meccanica*, a précisé ce qu'elles pouvaient encore présenter d'indécis ; à la fin de l'année 1639, il est en pleine possession de ces deux théorèmes essentiels :

Un ensemble quelconque de poids ne peut jamais se mettre de lui-même en mouvement, si ce mouvement ne produit un abaissement de son centre de gravité.

Lorsqu'un tel ensemble de poids descend en chute libre et sans vitesse initiale, son centre de gravité décrit une verticale.

Mais si Galilée a donné à ces propositions une forme parfaitement claire et précise, il ne les a point forgées de toutes pièces ; affirmées déjà au XIVe siècle par Albert de Saxe, contenues en germe dans cet aphorisme, cher à Léonard de Vinci, « La partie la plus lourde d'un grave se fait guide de son mouvement », elles s'étaient formulées, bien que d'une manière un peu confuse, dans l'*Opus novum* de Cardan, et, avec plus de force et de précision, dans le *De Subtilitate* du même auteur, puis dans la *Paraphrasis* de Guido Ubaldo, pour arriver, d'une manière graduelle,

à leur énoncé définitif dans les *Exercitationes* de Baldi, dans le *Synopsis* de Mersenne et dans les écrits de Galilée.

Torricelli, dit Montucla (1), « étudiait à Rome les mathématiques sous Castelli, lorsque les écrits de Galilée sur le mouvement lui tombèrent entre les mains. Il composa dès lors sur le même sujet un Traité qui fut envoyé à Galilée, et qui lui donna tant d'estime pour son auteur qu'il désira le connaître et l'avoir auprès de lui. Mais Torricelli ne jouit de cet avantage que fort peu de temps, Galilée étant mort trois mois après. Il augmenta dans la suite le Traité dont nous parlons, et, y ajoutant une partie sur le mouvement des fluides, il le publia, avec ses autres ouvrages mathématiques, en 1644. Nous y trouvons la première idée d'un principe ingénieux et très utile en Mécanique. C'est celui-ci : *Lorsque deux poids sont tellement liés ensemble, qu'étant placés comme l'on voudra, leur centre de gravité commun ne hausse ni ne baisse, ils sont en équilibre dans toutes ces situations*. C'est par le moyen de ce principe que Torricelli démontre le rapport des poids qui se contrebalancent le long des plans inclinés ; et quoiqu'il ne l'emploie que dans ce cas, il est facile de voir qu'on peut l'appliquer à tous les autres cas imaginables de la Statique. »

De ce récit, comparé à ce qui précède, découle la conclusion suivante : Non seulement Torricelli n'a pas précédé Galilée dans la découverte du principe de Statique que Montucla et Lagrange lui attribuent, mais encore c'est Galilée qui lui a enseigné ce principe. On n'en peut douter lorsque l'on observe que Galilée envoie, en décembre 1639, son fameux scholie au P. Castelli, en lui recommandant de le faire connaître autour de lui ; que Torricelli est, à ce moment, au nombre des disciples du P. Castelli ; qu'entre ce moment et l'époque de la mort de

(1) Montucla, *Histoire des Mathématiques*, nouvelle édition. Paris, An VII, tome II, p. 201.

Galilée (8 janvier 1642), Torricelli rédige son Traité où le principe en question est énoncé presqu'exactement dans les termes employés par Galilée.

Mais si Torricelli ne peut être regardé comme le premier auteur de cette proposition, il est le premier qui l'ait clairement désignée, peut-être sous l'inspiration du *De Subtilitate* de Cardan, du *Synopsis* de Mersenne ou des *Exercitationes* de Baldi, comme un postulat propre à fonder la Statique tout entière et qui ait montré, en l'appliquant au plan incliné, de quelle manière on en pouvait user. Or, la remarque était d'importance et l'on conçoit qu'elle ait ravi les suffrages de Galilée.

En effet, la détermination de la pesanteur d'un mobile glissant sur un plan incliné constituait, pour Galilée, le « théorème essentialissime » sur lequel devait reposer toute sa théorie du mouvement accéléré ; or, la déduction qui lui donnait cette détermination se tirait, plus ou moins explicitement, de l'axiome d'Aristote ou d'un axiome équivalent, c'est-à-dire de la Dynamique même que la nouvelle science du mouvement allait renverser et supplanter ; d'une manière plus ou moins manifeste, il y avait là cercle vicieux ; en fondant la théorie du plan incliné sur un postulat qui semblait avoir pour lui l'évidence expérimentale immédiate, Torricelli brisait ce cercle.

La solution plus satisfaisante donnée par Torricelli fut beaucoup plus tôt connue des géomètres que la solution de Galilée, dont elle procédait ; celle-là, en effet, parut en 1644, tandis que celle-ci fut imprimée seulement en 1655. Quant aux copies manuscrites qui en avaient été faites par Viviani et communiquées, en France et en Italie, aux amis du reclus d'Arcetri, il faut croire qu'elles furent fort parcimonieusement distribuées ; l'un des plus fervents admirateurs de Galilée, le premier Français, dit-on, qui ait reçu un exemplaire du *Dialogue sur les deux*

grands systèmes du Monde (1), Gassendi ignorait encore, en 1645, les raisonnements par lesquels Galilée avait justifié son fameux postulat : *Les vitesses acquises par des mobiles qui descendent d'une même hauteur sur des plans diversement inclinés sont égales.* Le P. Cazrée, de la Compagnie de Jésus, ayant attaqué ce postulat, Gassendi le réfuta par une lettre (2) où nous lisons ce qui suit :

« Par un hasard qui me causa quelque étonnement, au moment même où j'écrivais cette lettre, je reçus la visite du très noble Sénateur Pierre Carcavi, qui est un homme très au courant du progrès des sciences, et particulièrement adonné aux études de mathématiques pures ; après qu'il eût vu entre mes mains votre dissertation et qu'il eût pris connaissance de votre argumentation, il m'annonça qu'on lui avait transmis dans cette ville un exemplaire d'un livre tout récemment publié par Evangelista Torricelli, livre où l'éminent successeur de Galilée avait démontré ce postulat. Ayant obtenu communication de cet ouvrage, je vis en effet que Torricelli parvenait au but au moyen de cinq propositions et de cette prémisse : *Deux graves joints ensemble ne peuvent se mouvoir, à moins que leur commun centre de gravité ne descende.* »

Par cette lettre de Gassendi, nous voyons que le traité *De motu gravium naturaliter descendentium et projectorum*, composé par Torricelli, fut bientôt connu et apprécié en France. En voici une autre preuve ; elle est tirée du *Traité de l'Équilibre des Liqueurs* (3) de Pascal. Après avoir donné deux démonstrations du Principe fondamental de l'Hydrostatique, Pascal ajoute (4) :

(1) Cf. Gassendi *Opera*, t. VI, pp. 53 et 54.

(2) Petri Gassendi *Epistolae tres de proportione qua gravia descendentia accelerantur, quibus ad totidem epistolas R. P. Petri Cazraei, Societatis Jesu, respondetur* ; Epistola prima, Art. XIV ; Parisiis, eid. Martis MDCLV (Petri Gassendi *Opera*, t. III, p. 570 ; Lugduni, 1658).

(3) On ne sait pas à quelle date Pascal composa ce Traité. Il fut publié par Ét. Périer en 1663, un an après la mort de son beau-frère.

(4) Blaise Pascal, *Œuvres complètes*, t. III, pp. 86 et 87 ; Paris, Hachette et Cie, 1880.

« Voici encore une preuve qui ne pourra être entendue que par les seuls géomètres, et peut être passée par les autres.

» Je prends pour principe, que jamais un corps ne se meut par son poids, sans que son centre de gravité descende...

» J'ai démontré par cette méthode, dans un petit *Traité de Mécanique*, la raison de toutes les multiplications de force qui se trouvent en tous les autres instrumens de Mécanique qu'on a jusqu'à présent inventés. Car je fais voir en tous, que les poids inégaux qui se trouvent en équilibre par l'avantage des machines, sont tellement disposés par la construction des machines, que leur centre de gravité commun ne saurait jamais descendre, quelque situation qu'ils prissent ; d'où il s'ensuit qu'ils doivent demeurer en repos, c'est-à-dire en équilibre. »

Bien que Pascal ne cite point ici le nom de Torricelli, il est fort possible qu'il lui ait emprunté le principe de Statique dont il tirait une conséquence nouvelle ; que le *Petit traité de Mécanique* auquel il fait allusion, traité perdu aujourd'hui comme maint écrit de l'auteur des *Provinciales*, fût le développement de l'indication donnée par le grand géomètre italien. Nous savons en effet, par son propre témoignage, que Pascal avait connu de très bonne heure les *Opera geometrica* d'Evangelista Torricelli ; le 8 août 1651, il écrivait (1) à M. de Ribeyre, au sujet de l'expérience « du vif argent » :

« Mais comme nous étions tous [vers 1647 ou 1648] dans l'impatience de savoir qui en était l'inventeur, nous en écrivîmes à Rome au cavalier del Posso, lequel nous manda, longtemps après mon imprimé [tiré en 1647],

(1) *Lettre de Pascal à M. de Ribeyre*, premier président de la Cour des Aides de Clermont-Ferrand, au sujet de ce qui fut dit dans le prologue des thèses de philosophie soutenues en sa présence dans le collège des Jésuites de Montferrand, le 25 juin 1651 (Blaise Pascal, *Œuvres complètes*, t. III, pp. 76 et 77 ; Paris, Hachette, 1880).

qu'elle est véritablement du grand Toricelli, professeur du duc de Florence aux mathématiques. Nous fûmes ravis d'apprendre qu'elle venait d'un génie si illustre, et dont nous avions déjà reçu des productions en Géométrie, qui surpassent toutes celles de l'antiquité. Je ne crains pas d'être désavoué de cet éloge par aucun de ceux qui sont capables d'en juger. »

D'ailleurs, Carcavi, qui avait signalé à Gassendi le principe de Statique énoncé par Torricelli, presque aussitôt après la publication du livre où il se trouvait, était un des fidèles amis de Pascal, un de ceux que celui-ci choisit comme juge dans le tribunal composé pour décider du célèbre tournoi géométrique *de la Roulette ;* il n'eût point manqué de renseigner Pascal comme il renseigna Gassendi.

Pascal, toutefois, est excusable de n'avoir point cité Torricelli comme l'inventeur de ce principe ; dès 1626, dans son *Synopsis*, Mersenne l'avait énoncé et appliqué à la solution de quelques problèmes de Statique ; plus tard, en 1644, le même Mersenne se servait (1) de la doctrine d'Albert de Saxe pour rendre compte des lois de l'Hydrostatique ; en deux vases communiquants, où il suppose de l'eau, « l'eau descend jusqu'à ce que le centre de gravité de toute cette masse formée par la terre, l'eau et le vase s'unisse au centre de l'Univers » ; Pascal était donc en droit de le regarder comme faisant partie du patrimoine commun des géomètres. Ajoutons, enfin, qu'en son *Traité de l'Équilibre des Liqueurs*, Pascal ne cite aucun nom d'auteur (2).

Lors donc que fut imprimée pour la première fois la pièce qui assurait à Galilée la priorité de ce principe (à

(1) F. Marini Mersenni Minimi *Cogitata physico-mathematica in quibus tam naturæ quam artis effectus admirandi certissimis demonstrationibus explicantur;* Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, via Jacobeâ, MDCXLIV. Ars navigandi. Hydrostaticae liber primus, p. 239.

(2) Voir, à ce sujet : P. Duhem. *Le Principe de Pascal, Essai historique* (Revue générale des Sciences, 16e année, p. 599, 15 juillet 1905).

moins qu'il ne la faille rapporter à Léonard de Vinci) les géomètres étaient habitués, depuis plus de dix ans, à en attribuer l'invention à Torricelli.

L'histoire du principe de Galilée et de Torricelli nous offre un remarquable exemple de la continuité selon laquelle évoluent le plus souvent les idées scientifiques ; nous avons pu suivre le développement de ce principe comme le naturaliste suit le développement d'un organisme.

CHAPITRE XVI

LA DOCTRINE D'ALBERT DE SAXE ET LES GÉOSTATICIENS

1. *Comment s'est épurée la notion de centre de gravité L'influence de Képler*

Un système est en équilibre, lorsque tout changement de sa configuration ferait monter son centre de gravité. Ce principe est nettement formulé dans la lettre adressée, le 3 décembre 1639, par Galilée au P. Castelli ; il est non moins clairement énoncé dans la pièce sur la chute des graves, que Torricelli donna peu après. Toutefois, lorsque nous comparons les formes prises par ce même principe dans l'écrit de Galilée et dans celui de Torricelli, nous notons entre elles une différence essentielle.

Non seulement Galilée ne néglige pas, en principe, la convergence des verticales vers le centre de la Terre, mais encore la considération du point de convergence des verticales est un élément essentiel de ses déductions. Celles-ci gardent un reflet très net de cette doctrine, professée par Albert de Saxe et par maint scolastique, et à peine modifiée par Copernic : Un grave, qui est une partie de la Terre entière, a même nature que la Terre ; le centre de gravité de ce poids tend à s'unir à son semblable, qui est le centre de gravité de la Terre entière ; cette sympathie du semblable pour son semblable sauvegarde l'intégrité du globe.

Constamment, le langage de Galilée se conforme à cette doctrine. Après avoir défini le centre de gravité, il ajoute : « C'est aussi ce point qui tend à s'unir au centre du Monde, c'est-à-dire de la Terre, lorsque le corps peut tomber librement dans un milieu quelconque. » Il admet

que « c'est ce centre de gravité, et ce centre seulement, qui tend à s'unir avec le centre commun ». A la fin de sa vie encore, au moment de donner de son principe un énoncé définitif, il parle du « centre commun vers lequel conspirent toutes les choses graves » ; il admet qu'un ensemble de graves « ne peut se mouvoir spontanément si, par suite du mouvement pris, son propre centre de gravité ne gagne pas en voisinage par rapport au susdit centre commun ». Ce n'est pas, pour nos préjugés historiques modernes, un mince sujet d'étonnement que de voir Galilée faire reposer en entier sur la théorie scolastique d'Albert de Saxe le « théorème essentialissime », dont dépend la ruine de la Dynamique péripatéticienne.

Les raisonnements de Torricelli diffèrent profondément de ceux de Galilée ; non seulement Torricelli ne cherche plus à justifier son principe par la tendance qu'aurait le centre de gravité d'un ensemble de poids à se placer au centre des choses graves, mais encore il rejette résolument ce dernier point à l'infini, il traite les verticales comme parallèles entre elles. Les idées qu'il professe à cet égard sont des plus nettes.

« Voici, dit-il (1), une objection qui est des plus répandues auprès de très graves auteurs : Archimède a fait une hypothèse fausse en regardant comme parallèles entre eux les fils qui soutiennent les deux poids pendus à une balance ; en réalité, les directions de ces deux fils concourent au centre de la Terre. »

Pour résoudre cette objection, Torricelli distingue nettement les machines concrètes, formées de corps pesants réels, sur lesquelles on expérimente, et les machines abstraites desquelles le géomètre raisonne ; c'est en celles-ci seulement que l'on peut considérer des surfaces pesantes sans épaisseur, des fils sans poids ; il est également permis d'y considérer les verticales comme des

(1) Evangelistæ Torricellii *de dimensione parabolæ solidique hyperbolici problemata duo* ; ad lectorem proœmium, p. 9.

lignes parallèles. « Le fondement mécanique qu'Archimède a adopté (1), savoir, le parallélisme des fils de la balance, peut être réputé faux, lorsque les masses suspendues à la balance sont des masses physiques, réelles, tendant au centre de la Terre. Il n'est plus faux, lorsque ces masses (qu'elles soient abstraites ou concrètes) ne tendent point au centre de la Terre ni à quelque autre point voisin de la balance, mais vers quelque point infiniment éloigné.

» Toutefois, pour plus de brièveté et de facilité, nous ne nous écarterons pas du langage usuel ; ce point [infiniment éloigné] vers lequel tendent les masses suspendues à la balance, nous le nommerons encore *centre de la Terre*... »

Torricelli borne donc résolument le champ de ses déductions ; il le réduit à cette Mécanique abstraite où l'on traite la pesanteur comme ayant, en tout point, même intensité et même direction ; par là même, il transforme le principe entaché d'erreur qu'avait énoncé Galilée en un principe parfaitement correct. Quelles influences ont pu le déterminer à accomplir une telle transformation ?

Parmi ces influences, il convient de mentionner en premier lieu celle de Képler. L'opinion qui voit dans la gravité un désir de ce point mathématique, le centre de gravité du poids, à s'unir à un autre point mathématique, centre de l'Univers ou centre de la Terre, trouve en Képler un adversaire convaincu. L'attraction mutuelle de *deux points mathématiques* lui paraît une pure fiction ; seuls, *deux corps* peuvent s'attirer ou se repousser l'un l'autre :

« L'action du feu, dit-il (2), consiste, non à gagner la surface qui termine le Monde, mais à fuir le centre ; non pas le centre de l'Univers, mais le centre de la Terre ; et ce centre non pas en tant que point, mais en tant qu'il est au milieu d'un corps, lequel corps est très opposé à

(1) Evangelista Torricelli, *loc. cit.*, p. 11.

(2) Jo. Kepleri *littera ad Herwartum*, 28 mars 1605 (Joannis Kepleri astronomi *Opera omnia* edidit Ch. Frisch ; t. II, p. 87).

la nature du feu, qui désire se dilater ; je dirai plus, la flamme ne fuit pas, mais elle est chassée par l'air plus lourd comme une vessie gonflée le serait par l'eau... Si l'on plaçait la Terre immobile en quelque lieu et qu'on en approchât une Terre plus grande, la première deviendrait grave par rapport à la seconde et serait attirée par elle comme la pierre est attirée par la Terre. La gravité n'est pas une action, c'est une passion de la pierre qui est tirée. »

« Un point mathématique (1), que ce soit le centre du Monde ou que ce soit un autre point, ne saurait mouvoir effectivement les graves ; il ne saurait non plus être l'objet vers lequel ils tendent. Que les physiciens prouvent donc qu'une telle force peut appartenir à un point, qui n'est pas un corps, et qui n'est conçu que d'une manière toute relative !

» Il est impossible que la forme substantielle de la pierre, mettant en mouvement le corps de cette pierre, cherche un point mathématique, le centre du Monde par exemple, sans souci du corps dans lequel se trouve ce point. Que les physiciens démontrent donc que les choses naturelles ont de la sympathie pour ce qui n'existe pas !

»... Voici la *vraie doctrine de la gravité :* La gravité est une affection corporelle mutuelle entre corps parents, qui tend à les unir et à les conjoindre ; la faculté magnétique est une propriété du même ordre ; c'est la Terre qui attire la pierre, bien plutôt que la pierre ne tend vers la Terre. Même si nous placions le centre de la Terre au centre du Monde, ce n'est pas vers ce centre du Monde que les graves se porteraient, mais vers le centre du corps rond auquel ils sont apparentés, c'est-à-dire vers le centre de la Terre. Aussi, en quelque lieu que l'on transporte la Terre, c'est toujours vers elle que les graves sont portés, grâce à la faculté qui l'anime. Si la Terre

(1) Joannis Kepleri *De motibus stellæ Martis commentarii*, Pragæ, 1609 (Kepleri *Opera omnia*, t. III, p. 151).

n'était point ronde, les graves ne seraient pas, de toute part, portés droitement au centre de la Terre ; mais, selon qu'ils viendraient d'une place ou d'une autre, ils se porteraient vers des points différents. Si, en un certain lieu du Monde, on plaçait deux pierres, proches l'une de l'autre et hors de la sphère de vertu de tout corps qui leur soit apparenté, ces pierres, à la manière de deux aimants, viendraient se joindre en un lieu intermédiaire, et les chemins qu'elles feraient pour se réjoindre seraient en raison inverse de leurs masses. »

On devine sans peine le rôle que de telles affirmations ont dû jouer en cette lente évolution qui a abouti à la doctrine de l'attraction universelle ; notre objet n'est point ici de retracer cette évolution (1). Il nous suffira d'avoir opposé la pensée de Képler, qui voit dans la pesanteur une attraction mutuelle entre le grave et chacune des parties du globe terrestre, à l'opinion d'Albert de Saxe, de Cardan, de Guido Ubaldo, de Galilée, opinion selon laquelle le centre de gravité d'un poids aspire à coïncider avec le centre commun des choses pesantes.

2. — *Comment s'est épurée la notion de centre de gravité* (suite) — *Les géostaticiens*

Les critiques de Képler contribuèrent peut-être moins à réfuter cette opinion que les graves erreurs auxquelles elle conduisit divers géomètres, et non des moindres.

Vers l'an 1635, Jean de Beaugrand allait en tous lieux, annonçant qu'il avait découvert la loi selon laquelle le poids d'un corps varie avec l'éloignement du centre de la Terre. Mersenne s'empressait d'insérer (2), en son *Har-*

(1) Cf. : P. Duhem, *La théorie physique, son objet et sa structure* ; 2e partie, ch. VII, § 2, p. 364. Paris, 1906.

(2) *Harmonie universelle*, par F. Marin Mersenne. *Seconde partie de l'Harmonie universelle*. Livre VIII, De l'utilité de l'harmonie et des autres parties des mathématiques. Proposition XVIII, p. 61. Paris, MDCXXXVII.

monie universelle, l'énoncé de la loi dont Beaugrand promettait la démonstration. Selon cette loi, « un corps pesant, par exemple une balle de plomb d'une livre, devient d'autant plus légère qu'elle s'approche du centre de la Terre ; et elle ne pèse plus rien lorsqu'elle se joint audit centre, comme conclud Monsieur de Beaugrand dans sa Géostatique, où il tient que la pesanteur de chaque corps se diminuë en mesme raison qu'il s'approche d'avantage du centre de la Terre, et que mesme toute la Terre ne pèse point ».

Mersenne ajoutait (1) : « J'espère que celuy qui en a le premier avancé la proposition nous donnera telle satisfaction sur ce sujet, que l'on n'y trouvera plus de difficulté, comme il le promet dans sa Géostatique ».

Mersenne n'était pas le seul géomètre qui souhaitât de connaître la démonstration promise par Beaugrand ; Fermat n'attendait pas avec moins d'impatience la publication de la *Géostatique* ; le 26 avril 1636, il écrivait (2) au savant religieux : « Vous m'obligeriez beaucoup de me faire savoir si M. de Beaugrand est à Paris. C'est un homme duquel je fais une estime très singulière ; il a l'esprit merveilleusement inventif, et je crois que sa Géostatique sera quelque chose de fort excellent ».

La *Géostatique* annoncée depuis longtemps, ardemment désirée par les meilleurs géomètres du temps, parut enfin (3). Le désappointement dut être grand ; les raisonnements de Beaugrand ne valaient absolument rien.

Descartes (4) n'eut point de peine à démêler le vice essentiel qui faussait tout l'ouvrage ; les raisonnements

(1) Mersenne, *loc. cit.*, p. 63.

(2) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry. Tome II, *Correspondance*, p. 4.

(3) Joannis de Beaugrand, Regis Franciæ domui regnoque ac ærario sanctiori a consiliis secretisque, *Geostatice, seu de vario pondere gravium secundum varia a Terræ centro intervalla dissertatio mathematica* ; Parisiis, apud Tussanum Du Bray, MDCXXXVI.

(4) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery, tome II, *Correspondance*, p. 174 : Lettre de Descartes à Mersenne du 29 juin 1638.

d'Archimède touchant l'équilibre du levier ne sont vrais « qu'en cas qu'on suppose que les cors pesans tendent en bas par lignes parallèles et sans s'incliner vers un mesme point », et Jean de Beaugrand ne l'avait point compris ; à cette première erreur, d'autres paralogismes venaient se joindre, pour aboutir à la fameuse proposition que l'auteur avait pompeusement annoncée. Descartes, avec la rudesse qu'il apportait presque toujours dans ses jugements, mais avec une justice qui en était trop souvent exclue, appréciait la *Géostatique* en ces termes :

« Bien que j'aye vu beaucoup de quadratures du cercle, de mouvemens perpétuels, et d'autres telles démonstrations prétendues qui étaient fausses, je puis toutefois dire avec vérité que je n'ay jamais vu tant d'erreurs jointes ensemble en une seule proposition... Ainsi je puis dire pour conclusion que tout ce que contient ce livre de Géostatique est si impertinent, si ridicule et si méprisable, que je m'estonne qu'aucuns honnestes gens ayent jamais daigné prendre la peine de le lire, et j'aurais honte de celle que j'ay prise d'en mettre icy mon sentiment, si je ne l'avois fait à vostre semonce. »

Un tel jugement était peu propre à assurer à Descartes l'amitié de Jean de Beaugrand ; celui-ci se répandit assurément en malédictions contre le philosophe (1), car nous voyons Descartes mander à Mersenne (2), le 27 juillet 1638, qu'il se soucie peu de ce que « le Géostaticien » écrit contre lui.

La *Géostatique*, d'ailleurs, ne paraît pas avoir trouvé, auprès des amis de Jean de Beaugrand, un accueil beaucoup meilleur qu'auprès de Descartes ; on en peut juger

(1) Les pamphlets anonymes que Beaugrand avait composés contre Descartes ont été retrouvés par Paul Tannery (Paul Tannery, *La Correspondance de Descartes dans les inédits du fonds Libri* ; Paris, 1896).

(2) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery, tome II, *Correspondance*, p. 253.

au ton de la lettre que Fermat écrivait (1) à Mersenne le mardi 3 juin 1636 : « J'ai vu la *Géostatique* de M. de Beaugrand et me suis étonné d'abord d'avoir trouvé ma pensée différente de la sienne ; j'estime que vous l'aurez déjà remarqué. Je lui envoie franchement mon avis sur son livre, vous assurant que j'estime si fort son esprit et qu'il m'en a donné de si grandes preuves, que j'ai peine à me persuader qu'ayant entrepris une opinion contraire à la sienne, je ne me sois éloigné de la vérité ; je consens pourtant qu'il soit mon juge et ne vous récuse pas non plus. »

Fermat, dans cette lettre, oppose son opinion à celle de Jean de Beaugrand ; lui aussi, en effet, avait avancé une proposition de Géostatique ; jointe, en mai 1636, à une lettre à Carcavi, qui est aujourd'hui perdue, cette proposition nous a été conservée (2).

La proposition de Géostatique donnée par Fermat va être le point de départ d'un débat long et important ; au cours de ce débat, nous verrons le conseiller au Parlement de Toulouse aux prises avec les plus grands géomètres de son temps, Étienne Pascal, Roberval et, enfin, Descartes ; nous entendrons Fermat énoncer des théorèmes qui paraîtront étranges à notre raison, accoutumée à la Mécanique moderne ; nous le verrons développer des déductions qui nous sembleront absurdes. Gardons-nous cependant de croire ce débat oiseux, de penser qu'il n'a eu d'autre effet que de prouver à Fermat les contradictions, bien évidentes pour nous au premier abord, auxquelles se heurtaient ses opinions touchant la Statique. La querelle a une tout autre portée. Son sens exact, il est vrai, ne saurait nous apparaître, si nous ne nous débarrassions pour un instant des connaissances mécaniques que des efforts, accumulés pendant des siècles, ont rendues aisées

(1) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de Paul Tannery et Ch. Henry. Tome II, *Correspondance*, p. 14.

(2) Id., *ibid.*, p. 6 : Propositio geostatica Domini de Fermat.

et comme naturelles à nos intelligences du xxe siècle ; ce sens, au contraire, nous deviendra clair, si nous restaurons en nous l'état d'esprit d'un géomètre au temps de Louis XIII.

Deux doctrines bien distinctes prétendent alors traiter de l'équilibre et du mouvement du corps pesant.

L'une de ces doctrines a pris d'abord pour principe l'axiome fondamental de la Dynamique péripatéticienne ; certains mécaniciens. Galilée par exemple, tiennent encore pour cet axiome ; mais la plupart des géomètres l'ont plus ou moins formellement abandonné ; ils tirent leurs théorèmes de Statique de l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant, invoquée tout d'abord par Jordanus, ou d'autres principes liés à celui-là : telle l'impossibilité du mouvement perpétuel. Dans les écrits de Stevin et de Roberval, cette doctrine est parvenue à constituer une Statique complète, dont Descartes tracera bientôt un tableau, admirable de clarté et de simplicité.

L'autre doctrine a été formulée par Albert de Saxe ; la Scolastique entière l'a adoptée ; elle découle de ce principe : Il y a en tout grave un point, le centre de gravité, qui tend à s'unir au centre commun des graves. Bernardino Baldi et Guido Ubaldo ont exposé cette doctrine avec une grande précision, tandis que Cardan, Mersenne et Galilée en tiraient cette règle de Statique : Un système demeure en équilibre lorsque tout dérangement éloignerait son centre de gravité du centre commun des graves.

Or, entre les deux doctrines, celle qui est née de Jordanus de Nemore et celle qui a été proclamée par Albert de Saxe, il y a contradiction ; celle-ci ne peut s'accorder avec celle-là ; les corollaires utiles qu'elle a fournis ne pourront être acceptés par ceux qui posent en principe l'égalité du travail moteur au travail résistant, tant qu'une correction convenable n'aura pas effacé en ces corollaires la marque du postulat inacceptable qui les a produits.

Cette contradiction va apparaître, parce que Fermat,

disciple convaincu de la théorie inaugurée par Albert de Saxe, poussera celle-ci jusqu'à ses conséquences inacceptables. Le débat dont nous allons retracer l'histoire va donc débarrasser la Statique de la contradiction qu'elle recélait et assurer l'unité logique de cette science.

Qu'il faille voir en Fermat un disciple convaincu de la doctrine d'Albert de Saxe, c'est ce que nous marque le début même de sa *Propositio geostatica*.

Fermat prend pour principe « cette proposition qui », dit-il, « se prouve très aisément en marchant sur les traces d'Archimède et que l'on démontrerait incontinent si elle venait à être niée :

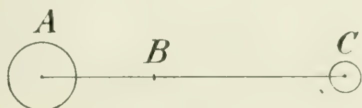


fig. 102.

» Soit B (fig. 102) le centre de la Terre, BC un rayon terrestre, BA une partie du rayon opposé ; si le poids placé en C est au poids placé en A comme BA est à BC, les poids A et C ne se mouvront pas ; ils se feront équilibre. »

Étrange transposition des lois établies par Archimède ! Fermat applique la règle du levier au cas où les deux forces agissantes, dirigées toutes deux suivant le levier, sont opposées l'une à l'autre ; il est bien clair cependant que, pour se faire équilibre, deux telles forces doivent être égales, et non pas dans le rapport de AB à BC.

Ainsi nous exprimerions-nous en vertu des connaissances qui nous sont aujourd'hui si familières qu'elles nous paraissent être de toute première évidence. Gardons-nous, cependant, de regarder Fermat comme un homme dénué de sens qui n'aurait point su reconnaître cette évidence. La proposition qu'il énonce, et qui nous surprend si fort, est la proposition essentielle d'une théorie qu'un grand

nombre de profonds penseurs ont soutenue, d'Albert de Saxe à Galilée.

N'est-ce pas, en effet, Albert de Saxe qui écrivait (1) : « Si la masse entière de la Terre était violemment retenue hors de son lieu, par exemple en la concavité de l'orbe de la Lune, et si, d'autre part, on laissait tomber un corps grave, ce grave ne se mouvrait pas vers la masse totale de la Terre ; il se dirigerait en ligne droite vers le centre du Monde. La raison en est qu'il ne trouverait son lieu naturel qu'au centre du Monde, pourvu, du moins, que son centre de gravité fût au centre du Monde » ?

N'est-ce pas le même Albert de Saxe qui, disant de la Terre entière ce qu'Aristote, Simplicius, saint Thomas, avaient affirmé d'un grave quelconque, écrivait (2) :

« La Terre a son centre de gravité au centre du Monde. En effet, toutes les parties de la Terre tendent au centre par leur gravité, comme Aristote le dit textuellement ; d'ailleurs, la vérité de cette proposition est hors de doute. Par conséquent, la partie la plus lourde de la Terre pousserait l'autre jusqu'à ce que le centre de gravité de la Terre entière fût au centre du Monde. Alors ces deux parties de même gravité demeureraient immobiles, lors même qu'elles n'auraient pas même grandeur, comme deux poids dans une balance » ?

N'est-ce pas enfin Marsile d'Inghen qui expliquait en ces termes (3) la théorie d'Albert de Saxe : « Si un clou était en équilibre au centre de la Terre, il n'y aurait qu'une faible longueur de ce clou d'un certain côté du centre, savoir, du côté où se trouve la tête du clou ; et cela parce que la tête est beaucoup plus lourde que le reste du clou » ?

Qu'est donc le postulat, si absolument inadmissible pour

(1) Alberti de Saxonia *Quæstiones in octo libros Physicorum ;* in librum IV quæstio V.

(2) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo ;* in librum II quæstio XXIII.

(3) Johannis Marcilii Inguen *Quæstiones super octo libros Physicorum ;* circa librum IV quæstio V.

nous, qu'invoque Fermat, si ce n'est la conclusion de Marsile d'Inghen revêtue d'une forme mathématique précise ?

C'est au moyen de ce principe, dont la fausseté est pour nous d'une palpable évidence, que le grand géomètre toulousain justifie la proposition suivante :

Soient C le centre de la Terre (fig. 103), CA un rayon terrestre et B un poids placé entre C et A. Pour soutenir ce poids placé en B, il faudrait lui appliquer *directement* une certaine force F. Supposons qu'au lieu d'appliquer cette force directement au point B, on la lui applique par

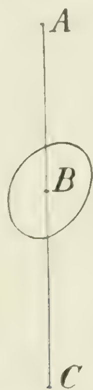


fig. 103.

l'intermédiaire de la tige AB, et que la force tire en A ; elle devra avoir une grandeur F′ qui sera à F comme BC est à AC.

La conséquence est manifestement aussi inadmissible que le principe ; les deux propositions sont également propres à marquer l'extrême ignorance des lois de la véritable Mécanique où se trouvaient quelques-uns des plus grands géomètres du XVII[e] siècle.

Le P. Mersenne, après avoir reproduit (1), dans son

(1) *Harmonie universelle*, par F. Marin Mersenne. *Seconde Partie de*

Harmonie universelle, le raisonnement de Fermat, dit : « Je ne voy pas la force de cette démonstration. » Et Descartes écrit (1) au dit P. Mersenne : « Au reste, j'ay à vous dire que mon Limousin est enfin arrivé, il y a déjà huit ou dix jours, et qu'il m'a apporté la Géostatique, avec la lettre que vous m'avez écrite par luy, en laquelle vous avez mis un raisonnement de M. Fermat pour prouver la mesme chose que le Géostaticien. Mais soit que vous ayez obmis quelque chose en le décrivant, soit que la matière soit trop haute pour moy, il m'est impossible d'y rien comprendre, sinon qu'il semble tomber dans la faute du Géostaticien, en ce qu'il considère le centre de la Terre comme si c'estoit celuy d'une balance, ce qui est une très grande méprise. »

Fermat eut sans doute connaissance des objections que certains géomètres élevaient contre sa proposition ou des obscurités qu'ils y rencontraient ; pour lever les unes et dissiper les autres, il rédigea une pièce en latin (2), qu'il inséra dans une lettre adressée (3) à Mersenne le 24 juin 1636.

Le grand géomètre toulousain se plaint, tout d'abord, que l'on confonde son sentiment avec celui de Beaugrand, selon lequel le poids d'un grave dépend de sa distance au centre de la Terre : « J'estime que tout grave, en quelque lieu du Monde qu'il soit, hormis dans le centre, pris en soi et absolument, pèse toujours également, et c'est une proposition que j'aurais aisément prise pour principe, si je ne la voyais contestée. Je tâcherai donc à la prouver ; mais qu'elle soit vraie ou non, cela n'empêche pas la

l'Harmonie universelle. Livre VIII, De l'utilité de l'harmonie et des autres parties des mathématiques. Proposition XVIII, p. 65. Paris, MDCXXXVII.

(1) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery, t. II, *Correspondance*, p. 190 ; Lettres de Descartes à Mersenne du 29 juin 1638.

(2) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry ; t. II, *Correspondance*, p. 23 : Nova in mechanicis theoremata Domini de Fermat.

(3) Fermat, *loc. cit.*, p. 17.

vérité de ma *proposition*, qui ne considère jamais le grave en soi, mais toujours par relation au levier, et ainsi je ne mets rien dans la conclusion qui ne se trouve dans les prémisses ».

La distinction invoquée par Fermat nous paraît aujourd'hui insaisissable ; pour la comprendre, il faut se souvenir que Fermat est imbu des opinions courantes dans l'École depuis Albert de Saxe ; il regarde comme invariable la gravité totale d'un corps ; mais de cette gravité constante, une part plus ou moins grande peut passer à l'état actuel et faire effort sur le levier, tandis que le reste demeure à l'état potentiel.

Fermat nous apprend ensuite (1) qu'il soupçonnait depuis longtemps Archimède de n'avoir pas apporté toute la précision désirable dans l'étude des Méchaniques ; il est clair, en effet, qu'il a supposé parallèles entre elles les directions de chute des graves ; hors de cette hypothèse, ses démonstrations ne peuvent subsister. Ce n'est point que cette hypothèse s'écarte beaucoup de la vérité ; la grande distance où se trouve le centre de la Terre permet de regarder les lignes de descente des graves comme parallèles entre elles. Mais cette approximation ne saurait satisfaire ceux qui cherchent la vérité minutieuse et profonde.

Pour découvrir cette vérité, il faut faire usage de principes autres que ceux d'Archimède ; Fermat en propose de nouveaux qu'il regarde comme dignes de toute confiance. C'est ainsi qu'il admet ce postulat, conséquence immédiate de la doctrine d'Albert de Saxe : Si deux graves égaux, unis par une ligne droite sans poids, n'étaient retenus par aucun obstacle, ils ne pourraient se reposer tant que le milieu de cette droite ne serait point au centre du Monde.

Il admet également un autre postulat dont nous repro-

(1) Fermat, *loc. cit.*, p. 23.

duirons exactement l'énoncé (1) ; nulle preuve plus manifeste ne saurait être donnée de l'ignorance où « Monsieur Fermat, conseiller au parlement de Tholose, et très excellent géomètre », demeurait au sujet des lois de Mécanique les plus anciennement découvertes et les plus clairement connues.

« Soit DBC un levier (fig. 104) ne passant pas par le centre de la Terre ; le point d'appui de ce levier est en B ; ses bras sont BD, BC ; le centre de la Terre est en A.



fig. 104.

Que l'on mène les droites DA, BA, CA ; que l'on suspende des graves aux points D et C et que le rapport du poids C au poids D soit le produit du rapport de la ligne DA à la ligne CA et du rapport inverse de l'angle CAB à l'angle BAD. Je dis que le levier BDC, suspendu par le point B, demeurera en équilibre.

» Nous pouvons affirmer que cette proposition est très vraie ; nous la démontrerons, lorsqu'il conviendra, par des démonstrations tirées de la Géométrie la plus pure et de la Physique. »

(1) Fermat, *loc. cit.*, p. 25.

La proposition formulée par Fermat est entièrement inexacte ; pour la rectifier, il y faut remplacer le rapport des angles CAB et BAD par le rapport de leurs sinus ; dans la pratique, ces angles sont assez petits pour que l'erreur commise soit très faible ; on conçoit donc que ce postulat erroné ait fourni à Fermat des conséquences qui sont *qualitativement* exactes.

De ce nombre est cette proposition : Une balance de bras égaux, portant des poids égaux, est en équilibre instable lorsqu'elle est parallèle à l'horizon.

« L'erreur d'Archimède (1), si pourtant nous la pouvons nommer ainsi, provient de ce qu'il a pris pour fondement que les bras de la balance arrêteroient, quoiqu'ils ne fussent pas parallèles à l'horizon, de quoi j'ai démontré le contraire.

»... Mais si la descente des graves se faisait par lignes parallèles,... en ce cas, la proposition d'Archimède serait vraie ; ce n'est pas que, dans l'usage, elle manque sensiblement, mais il y a plaisir à chercher les vérités les plus menues et les plus subtiles, et d'ôter toutes les ambiguïtés qui pourraient survenir. C'est ce que j'ai fait très exactement et je puis vous assurer que, quoique la recherche soit bien malaisée, j'en possède toutes les démonstrations parfaitement. »

Les déductions d'Archimède étaient parfaitement exemptes de l'erreur que Fermat prétendait en éliminer ; seul, Guido Ubaldo s'en était rendu coupable ; Fermat écrivait (2) donc avec plus de justice, en sa pièce latine : « Nous démontrerons et réfuterons l'erreur d'Ubaldo et d'autres géomètres, qui supposent les bras de la balance capables de demeurer en équilibre, lors même qu'ils ne sont pas parallèles à l'horizon. »

Parmi les corollaires exacts que Fermat put tirer de

(1) Fermat, *loc. cit.*, p. 18.
(2) Id., *ibid.*, p. 26.

ce principe erroné, il convient encore de citer celui-ci (1), d'une importance singulière pour l'objet de cette étude : « On voit par ce qui précède que toutes les définitions du centre de gravité, données par les anciens, gisent à terre ; si l'on excepte la sphère, il n'est aucun corps où l'on puisse trouver un point déterminé tel que ce grave, suspendu par ce point, en dehors du centre de la Terre, demeure en équilibre indifférent. » Mais au lieu d'en déduire que la notion de centre de gravité perd tout sens lorsqu'on cesse de traiter les verticales comme parallèles, Fermat veut, à tout prix, sauver cette notion, et il propose (2) cette définition nouvelle, conséquence étrange des doctrines d'Albert de Saxe, de Benedetti, de Bernardino Baldi, de Guido Ubaldo et de Galilée : « Nous définirons désormais le centre de gravité de la manière suivante : Un point, placé à l'intérieur du corps, tel que le corps demeurerait en équilibre indifférent si ce point était uni au centre de la Terre ; dans ce cas, seulement, il y a lieu de considérer des centres de gravité. »

Mersenne s'empressa de communiquer la démonstration de Fermat aux divers géomètres avec lesquels il avait commerce ; elle ne plut pas, et Fermat ne tarda pas à le savoir. « Vous ne devez pas douter que ma démonstration ne conclue parfaitement, écrit-il (3) à Mersenne le 15 juillet 1636, bien qu'il semble que M. de Roberval ne l'a pas trouvée précise. »

Roberval ne tarda sans doute pas à faire connaître ses objections à l'encontre des principes admis par Fermat, car, au mois d'août 1636, celui-ci écrit (4) au professeur du Collège de France :

« La première objection consiste en ce que vous ne

(1) Fermat, *loc. cit.*, p. 25.
(2) Id., *ibid.*, p. 25.
(3) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry, t. II, *Correspondance*, p. 28.
(4) Id., *ibid.*, p. 31.

voulez pas accorder que le mitan d'une ligne qui conjoint deux poids égaux, descendant librement, s'aille unir au centre du Monde. En quoi certes il me semble que vous faites tort à la lumière naturelle et aux premiers principes... La vérité de mon principe dépend de ce que les deux poids ou puissances ont naturellement inclination au centre de la Terre et tendent là... Outre que jamais personne n'a douté que le centre d'un grave ne s'unit au centre de la Terre s'il n'étoit empêché.

» ... La deuxième objection est contre la nouvelle proportion des angles que j'ai découverte, contre laquelle vous n'avez rien dit de précis, mais seulement que vous avez démontré que la proportion réciproque des poids doit être expliquée non par les angles, mais par les sinus de ces angles.

» Voici la démonstration de ma proposition... »

Le samedi 16 août 1636, Étienne Pascal et Roberval écrivaient (1) à Fermat une longue lettre ; en cette épitre, modèle de discussion scientifique courtoise et précise, les postulats sur lesquels le grand geomètre toulousain avait fondé sa Mécanique se trouvaient soumis à un exact et rigoureux examen. L'effort de Roberval et d'Étienne Pascal tendait surtout à révoquer en doute le principe posé par Albert de Saxe, formulé par Bernardino Baldi et par Guido Ubaldo, admis par Galilée, reçu par Fermat comme une vérité de « lumière naturelle », comme un « premier principe » dont, jamais, « personne n'a douté ».

« Monsieur », écrivent Étienne Pascal et Roberval, « le principe que vous demandez pour la Géostatique est que si deux poids égaux sont joints par une ligne droite ferme et sans poids et, qu'étant ainsi disposés, ils puissent descendre librement, ils ne reposeront jamais jusqu'à ce que le milieu de la ligne (qui est le centre de la pesanteur

(1) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry ; t. II., *Correspondance*, p. 35.

des anciens) s'unisse au centre commun des choses pesantes.

» Ce principe que nous avons considéré il y a longtemps, ainsi qu'il vous a été mandé, paraît d'abord fort plausible ; mais quand il est question de principe, vous savez quelles conditions lui sont requises pour être reçu ; desquelles conditions, cette principale manque au principe dont il s'agit ici, savoir que nous ignorons quelle est la cause radicale qui fait que les corps pesants descendent et d'où vient l'origine de cette pesanteur. Ainsi nous n'avons rien de connu assurément de ce qui arriverait au centre où les choses pesantes aspirent, ni aux autres lieux hors la surface de la Terre, de laquelle, pour ce que nous y habitons, nous avons quelques expériences sur lesquelles nous fondons nos principes.

» Car il peut se faire que la pesanteur est une qualité qui réside dans le corps même qui tombe ; peut-être qu'elle est dans un autre, qui attire celui qui descend, comme dans la Terre. Il peut se faire aussi et il est fort vraisemblable que c'est une attraction mutuelle ou un désir naturel que les corps ont de s'unir ensemble, comme il est clair au fer et à l'aimant lesquels sont tels que, si l'aimant est arrêté, le fer n'étant point empêché l'ira trouver, si le fer est arrêté, l'aimant ira vers lui ; et si tous deux sont libres, ils s'approcheront réciproquement en sorte toutefois que le plus fort des deux fera le moins de chemin. »

En lisant ces lignes écrites par Étienne Pascal et par Roberval, on ne saurait méconnaître l'influence exercée par Képler sur ces géomètres ; cette constatation, d'ailleurs, n'est point pour nous surprendre ; l'étude du célèbre traité *Aristarchi Samii de mundi systemate*, composé par Roberval, marque de reste que, comme Descartes, le professeur du Collège de France avait médité la pensée du grand astronome.

« Or », poursuivent Étienne Pascal et Roberval, « de ces trois causes possibles de la pesanteur, les conséquences

sont fort différentes, ce que nous ferons connaître en les examinant ici l'une après l'autre.

» En premier lieu, si la première est vraie, selon l'opinion commune, nous ne voyons point que votre principe puisse subsister ; car, sur ce sujet, le sens commun nous dit qu'en quelque lieu que soit un poids, il pèse toujours également, ayant toujours la même qualité qui le fait peser, et qu'alors un corps reposera au centre commun des choses pesantes, quand les parties du corps qui seront de part et autre du même centre seront d'égale pesanteur pour contrepeser l'une à l'autre, sans avoir égard si elles sont peu ou beaucoup éloignées du centre.

» ... Et ne sert de rien d'alléguer le centre de la pesanteur du corps AB, lequel centre, selon les anciens, est au milieu C ; car ce centre n'a été démontré que quand la descente des poids se fait par des lignes parallèles, ce qui n'est pas ; et quand il y aurait un tel point, ce qui ne peut être aux corps qui tiennent à un même centre commun, il n'a pas été démontré, et ne prouveroit aucunement que ce seroit ce point là par lequel le corps s'uniroit au centre commun. Même cela, pour les raisons précédentes, répugne à notre commune connaissance en plusieurs figures.

» En tous cas, nous ne voyons point que ce centre commun des anciens doive être considéré autre part qu'aux poids qui sont pendus ou soutenus hors du lieu auquel ils aspirent.

» ... Si la seconde ou la troisième cause possible de la pesanteur du corps est vraie, il nous semble que l'on en peut tirer des conclusions. »

Étienne Pascal et Roberval tentent, en effet, de déterminer comment le poids d'un corps varie avec la distance de ce corps au centre de la Terre lorsque l'on regarde le poids d'un grave comme la résultante d'attractions exercées par les diverses parties du globe ; leur analyse est simplifiée à l'excès, car ils ne paraissent point tenir compte de l'influence que la distance de deux corps exerce

assurément sur la grandeur de leur attraction mutuelle ; elle n'en est pas moins un curieux essai pour suivre et développer la pensée de Képler. Elle conduit d'ailleurs les deux auteurs à ces sages réflexions touchant les tentatives de *Géostatique* : « Puis donc que de ces trois causes possibles de la pesanteur, nous ne savons quelle est la vraie, et que même nous ne sommes pas assurés que ce soit l'une d'icelles, se pouvant faire que ce soit une autre, de laquelle on tireroit des conclusions toutes différentes, il nous semble que nous ne pouvons pas poser d'autres principes en cette matière que ceux desquels nous sommes assurés par une expérience continuelle, assistée d'un bon jugement.

» Quant à nous, nous appelons des corps également ou inégalement pesants ceux qui ont une égale ou inégale puissance de se porter vers le centre commun, et un même corps est dit avoir un même poids, quand il a toujours cette même puissance ; que si cette puissance augmente ou diminue, alors, quoi que ce soit le même corps, nous ne le considérons plus comme le même poids. Or, que cela arrive aux corps qui s'éloignent ou s'approchent du centre, c'est ce que nous désirerions bien savoir ; mais ne trouvant rien qui nous contente sur ce sujet, nous laissons cette question indécise et nous raisonnons seulement sur ce que les Anciens et nous en avons pu découvrir de vrai jusqu'à maintenant. »

Étienne Pascal et Roberval ont une connaissance exacte des lois de la composition des forces ; aussi leur est-il facile de mettre à nu les graves erreurs que Fermat a commises en ses déductions.

Prenant un arc de cercle EBD (fig. 105) dont le centre A coïncide avec celui de la Terre, « vous supposez, disent-ils à Fermat (1), que le poids, posé tout entier au point B, pèsera de même sur l'appui B qu'étant posé par

(1) Étienne Pascal et Roberval, *loc. cit.*, p. 43.

parties aux points EFBCD. Cela est tellement éloigné du vrai que quelquefois, en lieu de peser sur l'appui B vers A, il pèsera au contraire sur le même appui pour s'éloigner de A ». C'est ce qui arrivera, par exemple, si l'arc ED surpasse une demi-circonférence et si la charge est tout entière placée aux deux points E et D. « Et, toutefois, étant ramassé tout entier au point B, il pèsera toujours de toute sa force sur l'appui B pour emporter le levier vers A, et, en général, étant étendu, il pèsera toujours moins sur l'appui qu'étant ramassé au point B. Toutes ces

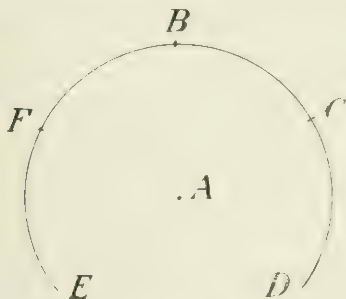


fig. 105.

choses, quoique contraires à votre supposition, sont démontrées en suite de nos principes. »

Les mêmes principes conduisaient Mersenne à reconnaître que le poids total d'un corps d'étendue finie devait diminuer au fur et à mesure que ce corps s'éloigne du centre de la Terre ; et cela, bien que chaque partie du corps gardât, contrairement à l'opinion de Beaugrand, un poids invariable. « Ceux, dit le savant religieux (1), qui considèrent un centre particulier de pesanteur dans chaque partie d'un corps proposé, et qui donnent une inclination particulière à chaque point du dit corps pour

(1) *Harmonie universelle*, par F. Marin Mersenne. *Seconde Partie de l'Harmonie universelle.* Livre VIII, De l'utilité de l'harmonie et des parties des mathématiques. Proposition XVIII, p. 63. Paris, MDCXXXVII.

descendre au centre des corps pesants (que l'on suppose estre le mesme que celuy de la Terre) prouvent par une autre voie, qui me semble meilleure, que les poids deviennent plus légers, ou pèsent moins en s'approchant dudit centre, mais non en mesme proportion qu'ils s'en approchent... Mais parce que l'autre différente pesanteur vient des angles différents faits par chaque point du corps proposé (à raison de la ligne droite par laquelle il veut descendre au centre de la Terre) avec la ligne qui traverse le centre de la pesanteur du dit corps, ou qui luy est parallèle, il s'ensuit que si le poids est considéré comme un point, c'est-à-dire que l'on considère un point qui ait de la pesanteur, il aura toujours la même pesanteur, près ou loin du centre de la Terre ; ce qui n'arrive pas dans l'autre opinion (1), dans laquelle ce point devient plus léger en mesme raison qu'il s'approche du centre, comme fait le corps pesant. »

La remarque faite par Mersenne en ce passage semble présentée comme une opinion commune dans les Écoles au moment où il écrit ; or, cette opinion, nous l'avons rencontrée (2), sous une forme très nette, dans le *Tractatus de ponderibus* de Maître Blaise de Parme ; et déjà Albert de Saxe, dont l'influence sur Blaise de Parme n'est point niable (3), en marquait (4) le principe : « La distance fait bien, il est vrai, que les diverses parties d'un grave tendent à leur lieu naturel par des voies diverses ; mais jamais elle n'empêcherait la tendance d'un corps vers son lieu » ; Albert de Saxe lui-même, en écrivant ces lignes, visait, nous l'avons vu, un argument de Roger Bacon. C'est pour nous une occasion nouvelle de constater la persistance, parmi les mécaniciens du XVIIe siècle, de tradi-

(1) Celle que soutenait de Beaugrand.

(2) Voir ci-dessus, Chapitre VII, § 4.

(3) Voir Chapitre XV, § 5.

(4) Alberti de Saxonia *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo ;* in librum I quæstio X.

tions qui devaient leur origine à l'école de Jordanus et aux commentaires d'Albert de Saxe et de ses disciples.

Fermat reçut avec un étonnement profond les critiques par lesquelles Étienne Pascal et Roberval prétendaient ruiner le principe d'Albert de Saxe ; cet étonnement pénible se laisse deviner en la lettre qu'il adressait à Mersenne le mardi 2 septembre 1636 : « Pour la *Proposition géostatique*, dit-il (1), elle est toute fondée sur ce principe seul que deux graves égaux, joints par une ligne ferme et laissés en liberté, se joindront au centre de la Terre par le point qui divise également la ligne qui les unit, c'est-à-dire que ce point de division s'unira au centre de la Terre. Messieurs Pascal et Roberval, après avoir reconnu que mon raisonnement est fondé là-dessus et, qu'accordant ce principe, ma proposition est sans difficulté, m'ont nié ce principe, que je prenais pour un axiome, le plus clair et le plus évident qu'on peut demander ; obligez-moi de me dire si vous êtes de leur sentiment. Je l'ai pourtant démontré depuis peu par de nouveaux principes, tirés des expériences, qu'on ne saurait contester et je le leur envoierai au plus tôt. »

Réduites, sans doute, aux idées que l'on développait dans les Écoles, d'après l'antique enseignement d'Albert de Saxe, les connaissances de Fermat en Mécanique laissaient béantes d'immenses lacunes ; le géomètre toulousain ignorait assurément comment l'équilibre d'un levier tiré par des forces diversement inclinées dépendait des moments de ces forces par rapport au point d'appui ; aussi doutait-il des raisonnements de Roberval, où il était fait usage de cette règle. « Vous m'obligerez beaucoup, écrit-il (2) au professeur du Collège de France, de m'envoyer la démonstration de votre proposition suivant l'opinion où

(1) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry ; t. II, *Correspondance*, p. 58.

(2) Fermat, *op. cit.*, p. 59. Lettre de Fermat à Roberval du 16 septembre 1636.

vous êtes, que les graves gardent la proportion réciproque des perpendiculaires tirées du centre du levier sur les pendants, et de laquelle je douterai toujours jusqu'à ce que je l'aurai vue. Je vous puis pourtant assurer que je ne saurais démordre de la mienne. »

Cédant aux instances de Fermat, Roberval lui écrit (1) le 11 octobre 1636 : « Je vous envoie la démonstration de la proposition fondamentale de notre Méchanique, ainsi que je vous l'ai promise ». Et, en indiquant minutieusement la définition des termes qu'il emploie, les axiomes qu'il invoque, il lui expose avec grand soin les lois d'équilibre d'un levier, droit ou coudé, que sollicitent des forces diversement inclinées. L'ordre que suit cet exposé rappelle très exactement la marche des raisonnements de Giovanni Battista Benedetti. Il n'est guère douteux, d'ailleurs, que Roberval ne connût le *Diversarum speculationum* de cet auteur. Un an plus tard, en effet, Mersenne expose (2), en la *Seconde partie de l'Harmonie universelle*, comment la convergence des verticales modifie la loi d'équilibre de la balance ; la règle qu'il indique est celle de Fermat, rectifiée par la correction qu'y avait apportée Roberval ; et, pour justifier cette correction, il invoque le traité de Benedetti :

« Or il ne sera pas hors de propos d'ajouter icy une particulière remarque que l'on a faite touchant les bras de la balance, dont les poids sont en raison réciproque de la longueur des dits bras, suivant les positions d'Archimède, parce qu'il suppose que les pendans des balances descendent parallèles, au lieu qu'ils penchent et s'inclinent vers le centre de la terre, auquel ils se rencontreraient, s'ils avoyent chacun 1145 lieuës de longueur. De là vient que ceux qui considèrent la balance plus exactement,

(1) Fermat, *op. cit.*, p. 75.

(2) *Harmonie universelle*, par F. Marin Mersenne ; *Seconde partie de l'Harmonie universelle* ; Nouvelles observations physiques et mathématiques. Ve observation, p. 17. Paris, MDCXXXVII.

concluent que les poids précédens sont en raison réciproque des lignes perpendiculaires menées des centres de chaque poids sur la ligne qui conjoint le centre de la terre et de la balance ; ou en raison réciproque (1) composée de la raison des lignes penchantes et de la raison des angles faits au centre de la terre, par la ligne qui conjoint les centres de la terre et de la balance, et les dites lignes penchantes, c'est à dire d'inclination ou de direction des poids vers le centre de la terre ; ou plutost en raison réciproque des lignes perpendiculaires tirées du centre de la balance sur les lignes penchantes, comme fait Jean Benoist dans son 3 chapitre sur les Méchaniques, ce que plusieurs excellents géomètres estiment véritable. »

La théorie si nette que Benedetti avait sans doute empruntée à Léonard de Vinci, et que Roberval lui emprunte à son tour, n'a pas raison de l'obstination avec laquelle Fermat défend sa manière de voir. Il s'efforce (2) de mettre Roberval en contradiction avec lui-même ; il croit y parvenir en tirant des principes contenus en sa dernière lettre la conclusion qu'une sphère pesante, placée sur un plan tangent au globe terrestre, se mettra en mouvement à moins qu'elle ne se trouve au point de contact ; en cette conclusion, nous reconnaissons une proposition d'Albert de Saxe ; Léonard de Vinci, Villalpand, Mersenne nous l'ont soigneusement conservée ; Fermat ne voit pas que si la théorie du plan incliné exige le repos d'une telle sphère placée sur un plan horizontal, c'est précisément parce que cette théorie néglige la convergence des verticales.

L'opiniâtreté du géomètre toulousain, qui refuse de se rendre aux raisons de la saine Mécanique, se manifeste

(1) Cette règle est celle qu'avait proposée Fermat.

(2) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry : t. II, *Correspondance*, p. 87 ; Objecta a Domino de Fermat adversus propositionem mechanicam Domini de Roberval, décembre 1636.

encore à plusieurs reprises (1) ; la cause, toutefois, peut être tenue pour entendue ; l'opinion d'Albert de Saxe, selon laquelle la pesanteur d'un corps est la tendance qu'a le centre de gravité de ce corps à s'unir au centre de la Terre, a subi une irrémédiable défaite.

Avec son bonheur habituel, Descartes entre dans la lutte au moment où il n'y a plus qu'à recueillir les fruits de la victoire.

L'inlassable curiosité de Mersenne lui a fait désirer de connaître l'avis du grand philosophe sur le problème géostatique qui vient de mettre aux prises Fermat, Roberval et Étienne Pascal. Accédant à cette demande, Descartes envoie au religieux Minime, le 13 juillet 1638, un *Examen de la question sçavoir si un corps pèse plus ou moins, estant proche du centre de la terre qu'en estant éloigné* (2).

Cet examen renferme un exposé de la Statique cartésienne, peu différent de celui que Constantin Huygens avait reçu quelque temps auparavant ; à cet exposé, que nous avons commenté en notre Chapitre XIV, sont jointes diverses remarques qui ont trait au débat dont nous relatons l'histoire.

Nous avons vu que Descartes avait connu par Mersenne les propositions avancées par Fermat ; qu'il ait connu également la lettre où Étienne Pascal et Roberval réfutaient ces propositions, on n'en saurait douter à la lecture des passages suivants :

«... Il faut déterminer ce qu'on entend par pesanteur absoluë. La plus part la prennent pour une vertu ou qualité interne en chascun des cors qu'on nomme pesans, qui les fait tendre vers le centre de la terre. » Selon les

(1) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry ; t. II, *Correspondance* ; Lettres de Fermat à Roberval du 7 décembre 1636 (p. 89) et du 16 décembre 1636 (p. 92).

(2) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; t. II, *Correspondance* (mars 1638-décembre 1639), p. 222.

uns, cette vertu dépend de la *forme* ; selon les autres, de la *matière* seule. » Or, suivant ces deux opinions, dont la première est la plus commune dans les escholes, et la seconde est la plus receue entre ceux qui pensent sçavoir quelque chose de plus que le commun, il est évident que la pesanteur absoluë des cors est toujours en eux une mesme, et qu'elle ne change point du tout à raison de leur diverse distance du centre de la Terre.

» Il y a encore une troisième opinion, à sçavoir de ceux qui pensent qu'il n'y a aucune pesanteur qui ne soit relative, et que la force ou vertu qui fait descendre les cors qu'on nomme pesans, n'est point en eux, mais dans le centre de la Terre, ou bien en toute sa masse, laquelle les attire vers soy, comme l'aymant attire le fer, ou en quelque autre telle façon. Et selon ceux-ci, comme l'aymant et tous les autres agens naturels qui ont quelque sphère d'activité agissent tousjours d'avantage de près que de loin, il faut avouër qu'un mesme cors pèse d'autant plus qu'il est plus proche du centre de la Terre.

» Pour mon particulier, » ajoute Descartes, « je conçoy véritablement la nature de la pesanteur d'une façon qui est fort différente de ces trois, mais pour ce que je ne la sçaurois expliquer qu'en déduisant plusieurs autres choses dont je n'ay pas icy dessein de parler, tout ce que je puis dire est que par elle je n'apprens rien qui appartienne à la question proposée, si non qu'elle est purement de fait, c'est à dire qu'elle ne sçauroit estre déterminée par les hommes qu'en tant qu'ils en peuvent faire quelque expérience ; et mesme que, des expériences qui se feront icy en nostre air, on ne peut connoistre ce qui en est beaucoup plus bas, vers le centre de la terre, ou beaucoup plus haut, au delà des nuës, à cause que s'il y a de la diminution ou de l'augmentation de la pesanteur, il n'est pas vraysemblable qu'elle suive partout une mesme proportion. »

Descartes cherche d'ailleurs si, parmi les expériences

dont les résultats sont déjà connus, il n'en est aucune qui nous puisse renseigner sur les variations de la pesanteur ; les faits lui semblent montrer que la pesanteur décroît lorsqu'on s'élève à partir de la surface de la terre ; mais les preuves qu'il donne de cette assertion sont étranges ; il cite « le vol des oyseaux », « ces dragons de papier que font voler les enfants » et même, sur la foi de Mersenne, « les bales des pièces d'artillerie, tirées directement vers le zénith, qui ne retombent point ». Parmi les arguments qu'il invoque, il en est un qui n'est point sans intérêt pour l'histoire de la pesanteur universelle :

« Une autre expérience, qui est desja faite et qui me semble très forte pour persuader que les cors éloignez du centre de la terre ne pèsent pas tant que ceux qui en sont proches, est que les Planètes qui n'ont pas en soy de lumière, comme la Lune, Venus, Mercure, etc., estant, comme il est probable, des cors de mesme matière que la Terre, et les cieux estant liquides, ainsy que jugent presque tous les astronomes de ce Siècle, il semble que ces Planètes devroient estre pesantes et tomber vers la Terre, si ce n'estoit que leur grand éloignement leur en oste l'inclination. »

Néanmoins, Descartes ne pense pas que l'expérience soit assez avancée pour permettre de raisonner géométriquement sur une pesanteur variable ; il la tiendra donc pour constante dans ses raisonnements : « Outre cela, nous supposerons que chasque partie d'un mesme cors pesant retient tousjours en soy une mesme force ou inclination à descendre, nonobstant qu'on l'esloigne ou qu'on l'approche du centre de la terre, ou qu'on le mette en telle situation que ce puisse estre. Car encore que, comme j'ay desjà dit, cela ne soit peut estre pas vray, nous devons toutefois le supposer pour faire commodément notre calcul.

» Or cete égalité en la pesanteur absoluë estant posée, on peut demonstrer que la pesanteur relative de tous les

cors durs, estant considérez en l'air libre et sans estre soutenus d'aucune chose, est quelque peu moindre, lorsqu'ils sont proches du centre de la Terre que lorsqu'ils en sont esloignez, bien que ce ne soit pas le mesme des cors liquides ; et au contraire que deux cors parfaitement égaux estant apposez l'un à l'autre dans une balance parfaitement exacte, lorsque les bras de cette balance ne seront pas parallèles à l'horison, celuy de ces deux cors qui sera le plus proche du centre de la terre pèsera le plus, et ce d'autant justement qu'il en sera plus proche. D'où il suit aussy que hors de la balance, entre les parties égales d'un mesme cors, les plus hautes pèsent d'autant moins que les plus basses qu'elles sont plus esloignées du centre de la terre, de façon que le centre de gravité ne peut estre un centre immobile en aucun cors, encore mesme qu'il soit sphérique. »

La première proposition énoncée par Descartes est celle que Blaise de Parme a formulée autrefois, que Mersenne a retrouvée ; Étienne Pascal et Roberval en ont opposé à Fermat de fort analogues ; les règles de composition des forces en donnent bien aisément la démonstration ; mais, nous l'avons vu, Descartes ne paraît pas avoir jamais eu une connaissance bien exacte de ces lois ; aussi, lorsqu'il se propose (1) de donner une « *démonstration qui explique en quel sens on peut dire qu'un corps pèse moins, estant proche du centre de la Terre, qu'en estant esloigné* », a-t-il recours à un artifice assez étrange et assez peu rigoureux pour tirer cette démonstration des lois du plan incliné.

Quant à la proposition qui a pour objet l'instabilité de l'équilibre d'une balance où l'on regarde les verticales comme concourantes, elle fait l'objet (2) d'une « *autre démonstration, qui explique en quel sens on peut dire qu'un mesme cors pèse plus, estant proche du centre de la terre*

(1) Descartes, *loc. cit.*, p. 238.
(2) Id., *ibid.*, p. 242.

qu'en estant esloigné ». Cette démonstration n'a point exigé de Descartes un fort grand effort d'invention ; Étienne Pascal, Roberval et Mersenne avaient déjà montré comment on devait, selon les principes exposés par Benedetti (1), corriger le raisonnement de Fermat ; cette déduction ainsi rectifiée est celle que Descartes s'approprie.

De la déduction incorrecte qu'il avait construite, Fermat avait déjà tiré ce corollaire qu'un corps n'a pas un centre de gravité indépendant de sa position ; ce corol-

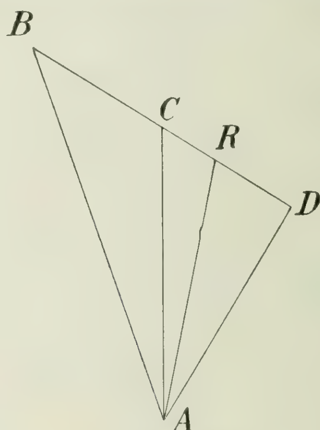


fig. 106.

laire, Descartes le justifie (2) de nouveau par des raisons exactes :

« En suite de quoy il est évident que le centre de gravité des deux poids B et D (fig. 106), joins ensemble par

(1) Dans une lettre (*a*) dont le destinataire est probablement Boswell et dont la date est peut-être 1646, Descartes déclare qu'il « partage l'avis de ceux qui disent que *deux poids sont en équilibre quant ils sont en raison inverse des perpendiculaires abaissées du centre de la balance sur les lignes qui joignent les extrémités des bras au centre de la Terre* ». Il ajoute que « non seulement la raison en est évidente, mais encore qu'elle peut être prouvée ». Nous avouons qu'il nous est impossible de trouver trace d'un raisonnement concluant dans les considérations présentées par Descartes.

(2) Descartes, *loc. cit.*, p. 244.

(*a*) Descartes, *Œuvres*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery ; tome IV, *Correspondance ; Additions*, p. 696.

la ligne BD, n'est pas au point C, mais entre C et D, par exemple au point R, où je suppose que tombe la ligne qui divise l'angle BAD en deux parties egales... De façon que les poids B et D doivent estre soutenus par le point R pour demeurer en équilibre en l'endroit où ils sont. Mais si on suppose la ligne BD tant soit peu plus ou moins inclinée sur l'horizon, ou bien ces poids à une autre distance du centre de la terre, il faudra qu'ils soient soutenus par un autre point pour estre en équilibre, et ainsy leur centre de gravité n'est pas tousjours au mesme point. »

Fermat avait cru, du moins, pouvoir admettre l'invariabilité du centre de gravité de la sphère ; Descartes prouve (1) que cette exception même n'a pas lieu d'être admise : « D'où il suit clairement que le centre de gravité de toute cete sphère n'est pas au point qui est le centre de sa figure, mais quelque peu plus bas en la ligne droite qui tend de ce centre de sa figure vers celuy de la terre. Ce qui semble véritablement fort paradoxe, lorsqu'on n'en considère pas la raison ; mais en la considérant, on peut voir que c'est une vérité mathématique très assurée. »

L'exposé de Descartes résume et juge le débat qui a mis aux prises Beaugrand, Fermat, Mersenne, Roberval et Etienne Pascal ; la conclusion en est maintenant claire et certaine ; l'idée d'un centre de gravité invariablement lié à chaque corps solide n'a de sens qu'autant que les verticales sont traitées comme parallèles entre elles ; c'est donc une absurdité que de vouloir attribuer à ce point une tendance à s'unir au centre de la Terre ; la seule considération du centre de la Terre suffit à rendre illégitime la considération du centre de gravité. Telle est la conséquence importante qu'a produite la querelle des *géostaticiens*.

De cette querelle, Torricelli a-t-il eu connaissance ? Ses

(1) Descartes, *loc. cit.*, p. 245.

recherches ont-elles pu éprouver l'influence des idées qui se discutaient parmi les géomètres français ? De ce point, nous ne saurions douter.

Nous avons vu que Torricelli avait passé une grande partie de sa vie à Rome, auprès de son maître, le P. Castelli ; c'est seulement trois mois avant la mort de Galilée (8 janvier 1642) qu'il quitta son premier maître, pour se rendre à Arcetri, auprès du grand géomètre.

Or, au fort de la querelle sur la Géostatique, le P. Castelli avait eu commerce avec Jean de Beaugrand ; il avait eu connaissance des propositions de Fermat sur la variabilité du centre de gravité et avait entrepris des recherches semblables ; nous en avons pour garant la lettre suivante (1), dont nous ignorons malheureusement la date et le destinataire :

« J'ai lu les très subtiles pensées de M. de Fermat au sujet du centre de gravité ; je confesse bien volontiers qu'elles m'ont paru belles et dignes de cette sublime intelligence, que M. de Beaugrand me célébra avec force louanges lors de son passage à Rome. Je veux croire qu'il en possède une démonstration rigoureuse. M. de Beaugrand m'a dit avoir obtenu une proposition semblable : savoir, qu'un même grave, placé à des distances diverses du centre de la Terre, pèse inégalement, et que le poids est au poids comme la distance au centre de la Terre est à la distance. Aussi ai-je appliqué ma pensée à cette matière et ai-je pensé, à ce moment, que j'avais retrouvé la démonstration ; mais depuis, m'étant proposé certaines difficultés, mon ardeur pour cette spéculation s'est refroidie. Je me souviens encore que j'en avais déduit la conséquence même qu'en tire M. de Fermat, savoir qu'un grave dont le centre de gravité coïnciderait avec le centre de la Terre n'aurait aucun poids et, de plus, que la Terre entière est dépourvue de poids ; en

(1) Fermat, *Œuvres*, publiées par les soins de MM. Paul Tannery et Ch. Henry ; t. II, *Correspondance*, p. 26.

outre, j'avais trouvé qu'un grave qui descend vers le centre de la Terre, non seulement change de poids d'instant en instant, mais encore, chose qui peut sembler plus merveilleuse, que le centre de gravité se déplace continuellement en la masse de ce grave ; de plus, si un grave se meut sur place d'un mouvement de rotation, son centre de gravité change sans cesse ; aussi suis-je aisément d'accord avec M. de Fermat en ceci : Que la nature du centre de gravité n'est point du tout telle que les mécaniciens l'ont communément décrite. »

Torricelli connaissait donc les erreurs et les contradictions auxquelles on est conduit lorsqu'on traite du centre de gravité sans admettre le parallélisme des verticales ; on comprend, dès lors, pourquoi il a pris soin de formuler, avec tant de précision, cette dernière hypothèse. Par là, il a profondément transformé le principe de Statique qu'il tenait de Galilée ; il a fait disparaître toute trace de la doctrine erronée à laquelle ce principe devait sa naissance. Comme mainte proposition de Physique, c'est en reniant ses origines que la loi de Torricelli est devenue une irréprochable vérité. Mais en brisant tout lien avec l'erreur qui lui avait donné naissance, elle a perdu l'apparente évidence qui semblait en imposer l'acceptation ; elle s'est montrée dès lors ce qu'elle était réellement : un pur postulat, justifié seulement par l'accord de ses conséquences avec la réalité.

CHAPITRE XVII

LA COORDINATION DES LOIS DE LA STATIQUE

1. *Le P. Marin Mersenne* (1588-1648) — *Blaise Pascal* (1623-1662) — *Le P. Zucchi* (1586-1670) — *Le P. Honoré Fabri* (1606-1688)

Lorsque le XVIIe siècle parvient au milieu de sa course, l'œuvre entreprise en Statique par Stevin, par Galilée, par Roberval, par Descartes et par Torricelli se trouve accomplie. Au moment où débuta le XVIe siècle, la plupart des grandes vérités de la Statique avaient été déjà entrevues, soit par les mécaniciens de l'École de Jordanus, soit par Léonard de Vinci. Puis elles s'étaient obscurcies de nouveau, et la critique étroite et partiale des géomètres les avait rejetées dans l'oubli. C'est ainsi que la brume se déchire un instant et laisse apercevoir la neige étincelante des hautes cimes qu'un nouveau nuage vient bientôt voiler. Maintenant, les propositions les plus importantes, parmi celles qui composent la Science de l'Équilibre, sont formulées d'une manière précise ; les silhouettes des principaux sommets se dessinent avec netteté. Mais il s'en faut bien que la Statique soit complètement constituée. Une théorie scientifique n'est pas la réunion de quelques grandes vérités isolées les unes des autres ; elle est un système où ces vérités s'enchaînent les unes aux autres, une classification méthodique dont l'ordre manifeste les affinités naturelles des divers principes. Or, de cet enchaînement, nul mécanicien n'a encore la claire vision. Si les principaux sommets brillent déjà, éclairés d'une vive lumière, les contreforts qui les unissent et les groupent en

un même massif sont encore noyés dans l'ombre. Parfois même, les yeux qui contemplent un pic n'aperçoivent pas une cime voisine. Descartes, qui marque si nettement les contours du principe des déplacements virtuels, n'a de la loi de la composition des forces qu'une vue extrêmement confuse et inexacte.

Il reste donc, pour que la Statique soit une science faite, une œuvre importante à accomplir. Il reste à grouper les diverses lois déjà découvertes en un système un et coordonné, à montrer comment elles s'accordent entre elles, comment elles dérivent les unes des autres, comment, en chaque circonstance, elles fournissent les conditions qui suffisent à assurer l'équilibre et qui sont nécessaires pour qu'il ait lieu.

Ce travail de systématisation et de coordination, nul, plus que le P. Mersenne, n'a souhaité ardemment de le parfaire ; nul ne s'y est plus activement efforcé. Malheureusement, le laborieux Minime n'était pas apte à mener à bonne fin la tâche qu'il s'était imposée. Pour classer en une théorie harmonieuse toutes ces propositions diverses et disparates, il fallait une vue claire et profonde des principes, une extrême rigueur de déduction, un sens critique très sûr et très finement aiguisé ; Mersenne était doué seulement d'une curiosité inlassable de collectionneur et d'une exubérante imagination d'artiste. Aussi, à la place du système logique qu'il eût fallu construire, ne composa-t-il qu'une compilation.

Compilation fort complète, d'ailleurs, et pour laquelle les œuvres de presque tous les mécaniciens contemporains furent mises à contribution.

Dès 1626, Mersenne avait donné son *Synopsis mathematica* (1), longue liste de propositions dues soit à des

(1) V. Chapitre XIII, 1, et Chapitre XV, 2.

géomètres anciens, soit à des auteurs modernes. A côté des théorèmes qui composent les traités d'Archimède, Mersenne avait reproduit les énoncés qui forment les ouvrages de Commandin et de Luca Valerio ; il y avait joint maint texte emprunté à Simon Stevin, à Guido Ubaldo, à Villalpand, à d'autres encore. Les *Mechanicorum libri* demeurèrent jusqu'à la fin du XVIIe siècle le thème de plus d'un traité de Statique, d'autant qu'en 1644, Mersenne réédita son *Synopsis* (1).

En 1634 paraissent *Les méchaniques de Galilée ;* l'infatigable compilateur ne s'est pas contenté de traduire l'œuvre du grand géomètre de Pise ; il y a joint « plusieurs additions rares et nouvelles, utiles aux Architectes, Fonteniers, Philosophes et Artisans » ; et parmi ces additions, plusieurs sont empruntées aux « Méchaniques du Guid-Ubalde (2) ».

L'année 1636 voit paraître les *Harmonicorum libri ;* Mersenne y rapporte les premiers travaux de Galilée sur la chute accélérée des graves ; la Statique y tient peu de place ; cependant, on y étudie (3) de quelle manière varie la pesanteur d'un grave pendu à l'extrémité d'un bras de levier lorsque ce levier tourne autour du point d'appui ; l'influence de Benedetti, dont Mersenne ne cite pas le nom en cet ouvrage, mais qu'il invoquera en un autre écrit, est ici bien manifeste.

En la même année 1636, Mersenne donne, en français, l'*Harmonie universelle.* Là se trouve inséré le « *Traité de*

(1) *Universæ Geometriæ mixtæque Mathematicæ synopsis, et bini refractionum demonstratarum tractatus ;* studio et operâ F. M. Mersenni M. ; Parisiis, apud Antonium Bertier, viâ Jacobæâ, sub signo Fortunæ, MDCXLIV.

(2) Mersenne, *Les méchaniques de Galilée*, p. 23. Cf. L'épitre dédicatoire adressée à M. de Reffuge.

(3) F. Marini Mersenni, ordinis minimorum, *Harmonicorum libri;* Lutetiæ Parisiorum, sumptibus Guglielmi Baudry, MDCXXXVI ; Liber secundus, de causis sonorum, Propositio XXIV, Corollarium IV, p. 22.

Méchanique, des poids soustenus par des puissances sur les plans inclinez à l'horizon ; des puissances qui soustiennent un poids suspendu à deux chordes ; par G. Pers. de Roberval ». Mais le laborieux Minime ne se borne pas à adjoindre l'écrit de Roberval à la partie de son propre ouvrage qu'il a intitulée : *A. Traitez de la nature du son et des mouvemens de toutes sortes de corps. Livre second. Des mouvemens de toutes sortes de corps.* Dans cette même partie, après avoir rapporté la théorie de Galilée sur la chute des corps et critiqué les hypothèses faites par le grand physicien au sujet du plan incliné, hypothèses qui ne s'accordent pas avec ses propres expériences, Mersenne « examine (1) la 9 proposition du 8 livre des Recueils Mathématiques de Pappus, qui consiste à sçavoir quelle force est nécessaire pour soustenir un poids donné sur un plan droit incliné à l'horizon selon un angle donné, dont j'ay déjà parlé assez amplement dans la 4 addition que j'ay mis (*sic*) dans les méchaniques de Galilée ; c'est pourquoi j'ajoûte seulement ici la démonstration qu'en a fait Monsieur de Roberval, l'un des plus excellens géomètres de ce siècle ».

Roberval n'est point le seul mécanicien dont les œuvres soient étudiées dans l'*Harmonie universelle.* Peu après le passage que nous venons de citer, Mersenne nous montre (2) que la loi du plan incliné donnée par Cardan au *De Proportionibus* n'est point exacte ; puis (3) que « Cardan, Tartalea et Guid-Ubalde ont failli touchant la balance ».

Ailleurs (4), Mersenne se montre préoccupé de la diminution que peut éprouver la pesanteur d'un corps qu'on éloigne du sol. Cette préoccupation se retrouve en plusieurs passages des *Nouvelles observations physiques*

(1) Mersenne, *loc. cit.*, Proposition VII, Corollaire VIII, p. 121.
(2) Id., *ibid.*, Proposition X, Corollaire I, p. 124.
(3) Id., *ibid.*, Proposition X, Corollaire II, p. 124.
(4) Id., *Harmonie universelle.* A. Traitez de la nature des sons et des

et mathématiques, observations qui doivent prendre place à la fin de l'*Harmonie universelle*. Nous y voyons Mersenne (1) soucieux de l'objection qu'adressait Fermat à la théorie du levier donnée par Archimède ; il tient compte de la convergence des verticales au moyen du théorème des moments, « comme fait Jean Benoist dans son 3 Chapitre sur les méchaniques, ce que plusieurs excellents géomètres estiment véritable ». Auparavant, il avait reproduit (2) sur le même sujet l'étrange raisonnement de « Monsieur Fermat, conseiller au parlement de Tholose, et très excellent géomètre », non sans ajouter : « Je ne voy pas la force de cette démonstration » ; il avait aussi annoncé la prochaine publication de la Géostatique de Monsieur de Beaugrand.

L'*Harmonie universelle* traitait d'un grand nombre de questions de Mécanique ; mais ces questions, éparses en diverses parties de l'ouvrage, ne se réunissaient pas de manière à former un traité de Mécanique. Ce traité, Mersenne tenta quelques années plus tard de le composer ; il l'adjoignit à l'un de ces ouvrages touffus et désordonnés, consacrés aux questions les plus diverses, qu'il avait coutume de publier. Le *Tractatus mechanicus, theoricus et practicus*, publié à Paris, chez Antoine Bertier, en 1644, forma la seconde partie des *Cogitata physico-mathematica* (3).

mouvemens de toutes sortes de corps. Livre troisième : Du mouvement, de la tension, de la force, de la pesanteur, et des autres propriétez des chordes harmoniques et des autres corps. Proposition XIX, p. 207.

(1) Mersenne, *Harmonie universelle*, Nouvelles observations physiques et mathématiques, V^e observation, pp. 16-17.

(2) Id., *ibid.*, Livre VIII. De l'utilité de l'harmonie et des autres parties des mathématiques. Proposition XVIII, pp. 61 et seqq.

(3) Voici quelques indications sur ce curieux ouvrage :

Il est intitulé : F. Marini Mersenni Minimi *Cogitata physico-mathematica*, in quibus tam naturæ quam artis effectus admirandi certissimis demonstrationibus explicantur. Parisiis, sumptibus Antonii Bertier ; via Jacobea, MDCXLIV.

Une *Præfatio præfationum* réunit les divers traités qui composent ce

Ce *Tractatus mechanicus* n'est, en réalité, qu'une compilation fort peu méthodique des connaissances acquises en Statique par le P. Marin Mersenne.

Le *prœludium* par lequel il débute renferme quelques figures (1) relatives au levier et au plan incliné ; les *Questions mécaniques* du Stagirite inspirent la démonstration de la règle du levier, tirée des vitesses avec lesquelles se meuvent les extrémités. Visiblement, les propositions II et V (2), consacrées à la notion de moment, ont subi

volume. Elle est suivie d'un sommaire ainsi libellé : Tractatus isto volumine contenti : I. De mensuris, ponderibus et nummis Hebraïcis, Græcis et Romanis ad Gallica redactis. — II. De hydraulico-pneumaticis phænomenis. — III. De Arte nautica, seu Histiodroma, et Hydrostatica. — IV. De Musica theorica et practica. — V. De mechanicis phænomenis. — VI. De Ballisticis, seu Acontismologicis phænomenis.

Alors une *Præfatio generalis*, sans pagination, précède un écrit de 40 pages : *De Gallicis, Romanis, Hebraïcis et aliis mensuris, ponderibus et nummis*. Ce traité est une seconde rédaction, plus correcte, de celui que nous allons rencontrer peu après.

Un faux titre : *Hydraulica, pneumatica, arsque navigandi, Harmonia theorica, practica et mechanica phœnomena*, autore M. Mersenno M., Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, viâ Jacobeâ, MDCXLIV, précède une épître dédicatoire au Marquis d'Estampes Valençay, le *Tractatus de mensuris, ponderibus atque nummis tam Hebraïcis quam Græcis et Romanis ad Parisiensia expensis* (pp. 1-40) et le *De hydraulicis et pneumaticis phœnomenis* (pp. 41-214).

Un nouveau faux-titre : *Ars navigandi super et sub aquis, cum Tractatu de Magnete et Harmoniæ theoreticæ, practicæ et instrumentalis*. Libri quatuor. Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, viâ Jacobææ, sub signo Fortunæ, MDXLIV — annonce les matières qui occupent les pages 225 à 370. Là se trouve, en particulier (pp. 225-255), l'Hydrostatique.

Nous trouvons encore un faux-titre, accompagné cette fois d'un changement de pagination. Ce faux-titre porte : F. Marini Mersenni Minimi *Tractatus mechanicus, theoricus et practicus*. Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, viâ Jacobææ, sub signo Fortunæ, MDCXLIV. 96 pages composent ce traité.

Un dernier faux-titre, accompagné d'un troisième changement de pagination, est ainsi rédigé : F. Marini Mersenni Minimi *Ballistica et Acontismologia, in quâ sagittarum, jaculorum, et aliorum missilium jactus, et robur arcuum explicantur*. Parisiis, sumptibus Antonii Bertier, viâ Jacobææ, MDCXLIV. Cette dernière partie compte 140 pages.

Un *Index amplissimus omnium rerum quas hoc primum volumen complectitur* termine l'ouvrage.

(1) Mersenne, *Tractatus mechanicus*, p. 2.

(2) Id., *ibid.*, p. 10 et p. 18.

l'influence de Benedetti, tandis que la proposition VI (1) reproduit des considérations de Guido Ubaldo, qui semblent méconnaître cette notion. La proposition X (2) développe, au sujet de l'utilité des poulies, des considérations qui sont empruntées à Galilée. Mais les deux auteurs auxquels Mersenne doit le plus sont Descartes et Roberval.

De Descartes, le laborieux compilateur reproduit presque en entier la lettre que ce « Vir clarissimus » lui écrivit le 13 juillet 1638 (3), et que nous avons étudiée au Chapitre XIV. Cette lettre fournit la théorie du levier (4), celle du plan incliné (5), à propos de laquelle Mersenne formule l'axiome de Descartes, enfin la variation apparente du poids d'un corps lorsque ce corps s'éloigne du centre de la Terre (6).

Le calcul de la force qui doit agir parallèlement ou obliquement à un plan incliné pour maintenir un corps pesant en équilibre sur ce plan est tiré (7) du *Traité de*

(1) Mersenne, *Tractatus mechanicus*, p. 23.

(2) Id., *ibid.*, p. 36.

(3) Il y était, du reste, dûment autorisé par une lettre de Descartes en date du 2 février 1643 (*Œuvres de Descartes*, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery, *Correspondance*, t. III, p. 611). Descartes, en cette lettre, disait à Mersenne que plusieurs personnes, en Hollande, avaient déjà eu copie de sa Statique. Ces copies provenaient de l'exemplaire adressé à Constantin Huygens ; les unes étaient en français, d'autres traduites en latin. C'est une de ces traductions latines que l'abbé Nicolas Poisson, prêtre de l'Oratoire, retraduisit en français et fit imprimer en 1668 (*a*). Jean Daniel Mayor, au contraire, ayant trouvé une copie française de l'*Explication des engins*, la traduisit en latin et la fit imprimer à Kiel en 1672.

(4) Mersenne, *Tractatus mechanicus*, Propositio III, p. 12.

(5) Id., *ibid.*, Propositio IX, p. 34.

(6) Id., *ibid.*, Propositio VII, p. 25.

(7) Id. *ibid.*, pp. 47-56.

(*a*) *Traicté de la Mécanique* composé par M. Descartes, de plus l'*Abrégé de la Musique* du même auteur, mis en français avec les éclaircissemens nécessaires, par N.P.P.D.L. ; Paris, Angot, 1668. Cette traduction du *Traicté de la Mécanique* fut réimprimée en 1724, à Paris, avec la Méthode, la Dioptrique et les Météores. Victor Cousin l'a insérée au t. V de son édition des *Œuvres* de Descartes (Paris, 1825).

Méchanique composé par Roberval et inséré en l'*Harmonie universelle*.

Ce n'est point, d'ailleurs, dans le *Tractatus mechanicus* que Mersenne reproduit la théorie de Roberval touchant le parallélogramme des forces. Il la donne seulement dans la *Ballistica et Acontismologia*, où elle forme les propositions V et VI (1).

Ajoutons enfin que l'influence de Stevin, moins manifeste que celle des auteurs précédemment cités, n'est point cependant entièrement absente de la Statique de Mersenne. Elle se trahit plus clairement en d'autres parties des *Cogitata physico-mathematica*. Le mot *antisacoma*, employé en un certain lieu (2), en est déjà la trace non douteuse. Elle se marque surtout, profonde et nette, en l'Hydrostatique, que Mersenne emprunte presque entièrement au géomètre de Bruges.

Tel est ce traité de Mécanique, où les fragments tirés des écrits les plus divers s'accolent en une mosaïque grossière, sans que rien les raccorde les uns aux autres, sans qu'aucune transition atténue la dureté tranchée de leurs disparates. Visiblement, Mersenne n'était point homme à ramener à l'unité tant d'œuvres dissemblables, à mettre d'accord tant de principes, contradictoires en apparence.

Tout ce qui manquait à Mersenne pour réduire la Statique en un corps de doctrine, pénétration profonde des principes, rigueur de la déduction logique, acuité du sens critique, toutes ces qualités, Pascal les possédait au degré suprême. Il était donc merveilleusement préparé à l'œuvre qu'il s'agissait d'accomplir ; et il semble bien, en effet, qu'il s'y soit essayé. Son essai, malheureusement, ne nous est pas parvenu.

Nous en avons connaissance par un passage du *Traité*

(1) Mersenne, *Ballistica et Acontismologia*, pp. 10-18.
(2) Id., *De hydraulicis et pneumaticis phœnomenis*, p. 141.

de l'Équilibre des liqueurs que Périer publia à Paris, en 1663, un an après la mort de son beau-frère. Au Chapitre II, intitulé : *Pourquoi les liqueurs pèsent suivant leur hauteur*, nous lisons ceci :

« Voici encore une preuve qui ne pourra être entendue que par les seuls géomètres, et peut être passée par les autres.

» Je prends pour principe, que jamais un corps ne se meut par son poids, sans que son centre de gravité descende...

» J'ai démontré par cette méthode, dans un petit *Traité de Mécanique*, la raison de toutes les multiplications de forces qui se trouvent en tous les autres instruments de mécanique qu'on a jusqu'à présent inventés. Car je fais voir en tous, que les poids inégaux qui se trouvent en équilibre par l'avantage des machines, sont tellement disposés par la construction des machines, que leur centre de gravité commun ne sauroit jamais descendre, quelque situation qu'ils prissent ; d'où il s'ensuit qu'ils doivent demeurer en repos, c'est-à-dire en équilibre. »

Le principe adopté par Pascal, en son petit *Traité de Mécanique*, est donc le principe formulé par Torricelli.

Pascal ne méconnaissait point, d'ailleurs, la valeur de l'axiome invoqué par Descartes. Au *Traité de l'Équilibre des liqueurs*, en ce même Chapitre II, nous lisons ceci :

« Et l'on doit admirer qu'il se rencontre en cette machine nouvelle cet ordre constant qui se trouve en toutes les anciennes : savoir, le levier, le tour, la vis sans fin, etc., qui est, que le chemin est augmenté en même proportion que la force..... De sorte que le chemin est au chemin comme la force est à la force ; ce que l'on peut prendre même pour la vraie cause de cet effet : étant clair que c'est la même chose de faire faire un pouce de chemin à cent livres d'eau, que de faire faire cent pouces de chemin à une livre d'eau, et qu'ainsi, lorsqu'une livre d'eau est tellement ajustée avec cent livres d'eau, que les cent livres

ne puissent se remuer un pouce, qu'elles ne fassent remuer la livre de cent pouces, il faut qu'elles demeurent en équilibre, une livre ayant autant de force pour faire faire un pouce de chemin à cent livres, que cent livres pour faire faire cent pouces à une livre. »

Pascal admettait donc à la fois l'axiome de Descartes et l'axiome de Torricelli ; mais nous ignorons s'il était parvenu à montrer pourquoi ces deux principes s'accordaient en toutes leurs conséquences, ni même si cette question avait sollicité son attention.

Le sens critique est assurément la faculté que le P. Zucchi prisait au plus haut point. C'est avec beaucoup de finesse et de subtilité qu'il relève, en sa *Nouvelle philosophie des machines* (1), tout ce qu'ont d'inadmissible les assertions émises par Aristote, dans les premiers chapitres de ses *Questions mécaniques ;* il ne montre pas moins de sagacité lorsqu'il s'efforce de mettre en lumière les postulats implicites et, d'ailleurs, nullement évidents qu'Archimède appelle à son aide pour justifier la loi du levier.

Ce sens critique, toutefois, n'était ni si délié, ni si sûr qu'il pût guider le P. Zucchi, sans erreur ni défaillance, parmi les divers principes de Statique que les géomètres modernes avaient proposés ; entre ces axiomes disparates, il hésite ; parmi ces notions mal définies, il confond.

En un de ses axiomes (2), par exemple, il prend le mot *virtus* au sens où Descartes disait *force,* où nous disons aujourd'hui *travail ;* mais, en l'axiome suivant, le mot

(1) *Nova de Machinis Philosophia in qua, Paralogismis Antiquæ detectis, explicantur Machinarum vires unico principio, singulis immediato,* authore Nicolao Zucchio Parmensi, Societatis Jesu, olim professore Mathematicæ in Collegio Romano. Accessit exclusio vacui contra nova experimenta, contra vires Machinarum. Promotio Philosophiæ Magneticæ ; ex ea novum argumentum contra systema Pythagoricum. Romæ, typis hæredum Manelphii, MDCXXXXIX. — Une première édition de cet ouvrage avait été donnée à Paris en 1646 ; les matières mentionnées dans le titre de la seconde édition à partir du mot *accessit* ne figuraient pas dans la première édition.

(2) Zucchi, *loc. cit.*, pars secunda, sectio V, 2, p. 45.

virtus a pris le sens que nous donnons aujourd'hui au mot *force*. Le premier de ces postulats semble annoncer que l'auteur va fonder toute sa Statique sur le principe Cartésien : *Ce qui suffit à élever un certain poids à une certaine hauteur, suffit aussi à élever un poids* K *fois plus grand à une hauteur* K *fois moindre*. Mais le raisonnement tourne à l'improviste et le principe auquel il se trouve conduire est le principe Péripatéticien : *Ce qui suffit à mouvoir un certain poids avec une certaine vitesse, suffit également à mouvoir un poids* K *fois plus grand avec une vitesse* K *fois moindre*.

Toutefois, généralisant la remarque que Galilée avait faite au sujet du plan incliné, Zucchi a soin de corriger l'axiome Péripatéticien : « La vitesse ou la lenteur du mouvement, dit-il (1), doit être estimée suivant la ligne de l'inclination de la puissance motrice ou résistante ; en particulier, dans le cas des poids, elle doit être estimée suivant la verticale, car l'inclination de ces poids au mouvement vers le bas ou leur résistance au mouvement vers le haut est dirigée suivant cette ligne. »

On voit, par cette citation, avec quelle aisance les contemporains de Descartes étendaient à des puissances de direction quelconque ce qu'ils savaient être vrai au sujet des poids. Il nous semblera donc fort naturel, au § 3, que Wallis apporte une semblable généralisation à l'axiome de Statique formulé par le grand philosophe français.

Au moment où le P. Zucchi donnait à Paris la première édition de sa *Nova de machinis philosophia*, un autre savant Jésuite s'efforçait de présenter la Dynamique sous une forme entièrement logique, où les lois mathématiques de cette science fussent très exactement déduites des principes de la Philosophie naturelle ; ce Jésuite était le P. Honoré Fabri. Né dans le Bugey, en 1606 ou 1607,

(1) Zucchi, *loc. cit.*, pars tertia, sectio III, p. 86.

le P. Fabri fut professeur au Collège des Jésuites de Lyon, puis Grand Pénitencier du Saint-Office ; il mourut à Rome le 9 mars 1688. Il était, au début de sa carrière scientifique, en très fréquent commerce avec le P. Mersenne.

Le P. Fabri ne publia pas sous son nom le résultat de ses méditations sur le mouvement local ; l'ouvrage où ce résultat se trouve consigné parut (1) sous le nom d'un ami du P. Fabri, Pierre Mousnier, Docteur en Médecine.

L'ouvrage publié par Pierre Mousnier est, avant tout, un traité de Dynamique ; il est, pour l'histoire de cette science, du plus haut intérêt ; mais la Statique étant, en dernière analyse, un cas très particulier de la Dynamique, on ne s'étonnera point qu'elle se trouve touchée en cet écrit.

Le livre V, intitulé : *De motu in diversis planis,* expose la théorie du mouvement d'un grave placé sur un plan incliné ; cette théorie suppose la détermination préalable de la pesanteur apparente d'un tel grave.

Le P. Fabri fonde cette détermination sur cet axiome (2) : *Un corps grave ne se meut spontanément que pour descendre.* De ce postulat, il tire ce corollaire (3), d'où découle toute la théorie du plan incliné : *Le mouvement d'un grave est gêné dans le rapport où le chemin qu'il faut accomplir pour acquérir une hauteur déterminée ou pour accroître d'une longueur déterminée sa distance au centre est à cette longueur verticale.*

Ne voyons-nous pas dans cette formule un ressouvenir de l'ancien axiome de Jordanus : *Gravius in descendendo quando ejusdem motus ad medium rectior ?*

Ce n'est pas la seule relique de la science médiévale

(1) *Tractatus physicus de motu locali, in quo effectus omnes, qui ad impetum, motum naturalem, violentum et mixtum pertinent, explicantur, et ex principiis physicis demonstrantur ;* auctore Petro Mousnerio, Doctore medico ; cuncta excerpta ex prælectionibus R. P. Honorati Fabry, Societatis Jesu. Lugduni, apud Joannem Champion, in foro Cambii, MDCXLVI.

(2) Id., *ibid.*, p. 195, Axioma I.

(3) Id., *ibid.*, p. 196, Theorema V.

que contienne l'ouvrage du P. Fabri ; on y retrouve (1), par exemple, au sujet de la convergence des verticales, tous les paradoxes qu'avaient imaginés Albert de Saxe et son École, et que Villalpand, Bernardino Baldi et Mersenne avaient recueillis.

Le P. Fabri, ou son interprète Pierre Mousnier, ne se contente pas, d'ailleurs, de la brève allusion à la Statique que renferme le Livre consacré au plan incliné ; un appendice (2) est spécialement consacré à l'étude des engins propres à lever de grands fardeaux ; les lois fondamentales qui régissent l'emploi de ces engins s'y trouvent ramenées aux principes sur lesquels le savant Jésuite a assis sa Dynamique.

Plus nettement encore que la Statique du P. Zucchi, la Statique du P. Fabri s'identifie avec la Statique de Galilée, c'est-à-dire, en dernière analyse, avec la Statique d'Aristote, modifiée par la considération du plan incliné. Cela ressort avec évidence des divers axiomes postulés au début de cette Statique :

« Une même puissance produit plus aisément en un même mobile un mouvement moindre qu'un mouvement plus grand. — Un mouvement est d'autant moindre qu'il est plus lent, c'est-à-dire qu'il requiert plus de temps pour parcourir un espace donné. — Un poids égal à un autre ne le peut mouvoir d'un mouvement égal. — Un poids égal à un autre le peut mouvoir d'un mouvement moindre. — Un poids se meut plus aisément suivant une oblique que suivant une verticale d'autant que l'oblique est plus longue que la verticale. — Un poids peut mouvoir un poids plus grand, pourvu que le mouvement de celui-ci soit moindre que le mouvement de celui-là et que le rapport des mouvements soit moindre que le rapport des poids. — Pour qu'un poids puisse entraîner un poids plus petit d'un mouvement

(1) Pierre Mousnier, *loc. cit.*, p. 219.

(2) Id., *ibid.*, *Appendix secunda : De principio physico-statico ad movenda ingentia pondera*, p. 438.

plus grand que le sien, il faut que le rapport des poids soit plus grand que le rapport des mouvements. »

Après avoir formulé ces axiomes, l'auteur énonce en ces termes le « Problème universalissime » de la Statique : « Mouvoir un poids quelconque au moyen de n'importe quelle puissance », et il en donne cette solution générale : « Faire en sorte que le mouvement du poids soit moindre que le mouvement de la puissance et que le rapport des mouvements soit supérieur au rapport des poids. »

A cette solution est joint ce « Corollaire universalissime » : « Il résulte de là que toute l'industrie qui a pour objet de mouvoir de grands poids consiste à rendre leur mouvement de plus en plus lent ; vous pourrez augmenter le poids mis en mouvement dans le rapport où vous aurez diminué le mouvement. »

Quelques indications très sommaires marquent l'application de ce principe au levier, aux moufles, au treuil, à la vis, aux roues dentées, au plan incliné.

L'influence de Descartes, si sensible en certaines parties de la Dynamique exposée par le P. Honoré Fabri, ne se perçoit nullement ici ; toute la Statique du savant Jésuite est construite sur la notion de *momento,* telle que Galilée l'a conçue.

2. *Le* Traité de Mécanique *de Roberval*

C'est seulement d'une manière incidente, comme appendice à la théorie du mouvement local, que le P. Fabri avait traité des *Méchaniques ;* encore s'était-il borné à présenter sous une forme très générale et très concise le principe qui en justifie l'emploi ; ses leçons, publiées par Pierre Mousnier, ne pouvaient donc, en aucune façon, jouer le rôle d'un traité de Statique. Ce rôle n'était pas joué davantage par l'écrit du P. Zucchi ; cet écrit n'avait

rien d'un traité complet de Statique ; c'était bien plutôt un essai critique sur les principes de la Mécanique.

C'est, au contraire, un traité complet de Mécanique que Roberval se proposait d'écrire.

La publication de cet ouvrage était ardemment souhaitée par les amis du Professeur au Collège de France. En reproduisant, dans ses *Cogitata physico-mathematica*, les théorèmes de Roberval sur le plan incliné, Mersenne espère (1) qu'il excitera « ceux qui s'adonnent aux études de Mécanique à réclamer de notre grand géomètre, qui le cède à peine à Archimède, l'exposé des autres parties de cette Science ; et à le réclamer avec tant d'importunité qu'ils finissent par l'obtenir, pour le plus grand honneur des lettres ». Ces réclamations ne furent pas assez puissantes pour vaincre la répugnance que Roberval paraît avoir éprouvée à l'égard de la publication de ses œuvres.

Le traité de Mécanique de ce grand géomètre n'était cependant point demeuré à l'état de projet ; il avait été composé en entier ; nous en avons le témoignage par une lettre que l'auteur adressait en 1650 à Hevelius (2) ; cette lettre nous fait même connaître les titres des huit livres qui devaient composer cet ouvrage : « Nous avons construit, dit Roberval, une Mécanique nouvelle, depuis les fondations jusqu'au faîte ; sauf un petit nombre, les pierres antiques avec lesquelles elle avait été édifiée jusqu'ici ont toutes été rejetées. Elle est complète en huit étages, auxquels correspondent des livres en même nombre.

» Le premier livre traite, d'une manière générale, du centre de vertu des puissances ; on y cherche s'il existe un tel centre, à quelles puissances il convient et quelles sont celles auxquelles il ne convient pas.

» Le second traite de la balance ; on y examine les poids qui se peuvent faire équilibre.

(1) Mersenni *Cogitata physico-mathematica. Tractatus mechanicus*, p. 47.

(2) *Huygens et Roberval; Documents inédits* par C. Henry. Leyde, 1880.

« Le troisième traite du centre de vertu des puissances en particulier.

« Le quatrième est consacré à un extraordinaire larcin.

« Le cinquième a pour objet les instruments et les machines.

« Le sixième a trait aux puissances qui agissent au sein de certains milieux ; on s'y occupe des corps flottants.

« Le septième est consacré aux mouvements composés.

« Le huitième, enfin, traite du centre de percussion des puissances mobiles. »

Ce traité de Mécanique ne nous est point parvenu.

Longtemps après la mort de Roberval, on publia (1), en annexe à son traité géométrique qui a pour titre : *Observations sur la composition des mouvemens*, un court fragment désigné par ces mots : *Projet d'un livre de Mécanique traitant des mouvemens composés* ; ce fragment, dont nous aurons à nous occuper au § 4, peut être regardé comme un essai pour le septième livre du traité de Mécanique ; mais cet essai se borne à ce qui devait former les premières pages de ce livre.

D'autres fragments, composés par Roberval sur divers sujets de Mécanique, et presque tous inédits, se trouvent en un cahier manuscrit conservé à la Bibliothèque Nationale (2).

(1) Divers ouvrages de Mathématique et de Physique par Messieurs de l'Académie royale des Sciences. A Paris, MDCXCIII.

(2) Bibliothèque nationale, fonds latin, Ms. n° 7226. — Voici la composition exacte de ce manuscrit :

Fol. 1 : blanc — fol. 2 (recto) à fol. 30 (verso) : *Tractatus mechanicus a D. D. Roberval, anno 1645.* — fol. 31 (recto) à fol. 33 (verso) : *Demonstratio mechanica.* — fol. 34 (recto) à fol. 54 (recto) : *Lettre de Monsieur de Roberval à Monsieur de Fermates, conseiller de Thoulouze, contenant quelques propositions méchaniques.* — fol. 54 (verso) à fol. 56 (verso) : *Proposition de Monsr de Roberval qui sert à trouver les centres de gravité. Envoyée à Mr Fermat le premier avril 1645.* — foll. 57 et 58 : blancs. — fol. 59 (recto) à fol. 82 (recto) : *Theorema lemmaticum ad invenienda centra gravitatis mire inserviens a D. D. Roberval ; anno 1645* (Ce fragment ne contient pas seulement le lemme dont il s'agit, mais encore l'application de ce lemme à la recherche des centres de gravité du demi-cercle, de la demi-circonférence, de la trochoïde,

Parmi ces fragments, il en est assurément plusieurs que l'on doit regarder comme des ébauches de quelque livre du *Traité de Mécanique* annoncé dans la lettre à Hevelius.

Le *Tractatus mechanicus* que l'on trouve au début du cahier manuscrit ne paraît pas être autre chose que le commencement du premier livre de ce traité. C'est bien, en effet, le *centre de vertu de puissances* quelconques que Roberval se propose comme objet de ses déductions.

Roberval définit ce qu'il entend par *puissance (virtus seu potentia)* ; à ce mot, il attribue exactement le sens que nous attribuons au mot *force ;* c'est, du reste, le sens qu'il lui attribuait dès 1636, dans la lettre à Fermat que nous avons déjà mentionnée au Chapitre précédent : « Nous appelons en général une puissance, y disait-il, cette qualité par le moyen de laquelle quelque chose que ce soit tend ou aspire en un autre lieu que celuy où elle est, soit en bas, en haut ou à costé, soit que cette quantité convienne naturellement à la chose ou qu'elle luy soit communiquée d'ailleurs. De laquelle définition il s'ensuit que tout poids est une espèce de puissance, puisque c'est une qualité par le moyen de laquelle les corps aspirent vers les parties inférieures. Souvent nous appelons aussy du nom de puissance la mesme chose à laquelle la puissance convient, comme un corps pesant est appelé un poids. »

de la courbe associée à la trochoïde et du triangle). — fol. 82 (verso) et foll. 83 et 84 : blancs — fol. 85 (recto) à fol. 207 (recto) : *Traicté de Mechanique et specialement de la conduitte et élévation des eaux. Par Monsieur de Roberval* — fol. 207 (verso) à fol. 210 (recto) : *Proposition fondamentale pour les corps flottants sur l'eau.* — Le reste du cahier est blanc.

De ces divers écrits, un seul a été publié ; c'est la lettre à Fermat, écrite le 11 octobre 1636, et relative à la querelle sur la proposition géostatique ; le commencement de cette lettre fut publié en 1679, à Toulouse, dans les *Varia opera mathematica* D. Petri de Fermat, pp. 138-141 ; la lettre a été donnée in extenso par Paul Tannery et Ch. Henry dans leur édition des *Œuvres* de Fermat, t. II. *Correspondance,* art. XIV, p. 73. Tous les autres fragments sont inédits ; ils mériteraient les honneurs de la publication.

Pour employer notre langage moderne, c'est la composition des forces appliquées à un corps solide que Roberval se proposait d'étudier au premier livre de son *Traité de Mécanique*, dont le *Tractatus mechanicus* de 1645 nous présente sans doute le début.

Le problème est posé, tout d'abord, avec une grande généralité ; le corps peut être un point, une ligne, une surface ; il peut être étendu en toutes dimensions ; les forces peuvent être quelconques. Mais cette généralité ne tarde pas à subir des restrictions, explicites ou implicites ; en fait, Roberval admet que la *puissance* dont est doué chacun des éléments du solide a une grandeur invariable ; il admet qu'elle a une direction fixe ou bien qu'elle se dirige vers un centre fixe.

Ces restrictions rendent légitime le Postulat fondamental auquel Roberval attribue le troisième rang et que, dans sa lettre de 1636, il énonçait déjà en ces termes : « Si une puissance est penduë ou arrestée à une ligne flexible et sans poids, laquelle ligne soit attachée par un bout à quelque arrest, en sorte qu'elle soustienne la puissance, tirant sans empeschement contre cette ligne, la puissance et la ligne prendront quelque position en laquelle elles demeureront en repos, et la ligne sera droicte par force. Soit icelle ligne appelé le pendant ou la ligne de direction de la puissance... »

Du problème déjà restreint qui vient d'être énoncé, le *Tractatus mechanicus* de 1645 examine seulement un cas fort particulier, celui où toutes les forces qui sollicitent le corps solide sont parallèles entre elles et à une direction fixe. Ce cas particulier est étudié, d'ailleurs, avec un grand appareil de rigueur logique ; par une méthode, qui s'inspire à la fois d'Archimède et de Pappus, sont établies l'existence et les propriétés du centre des forces parallèles.

Un commencement de recherches sur la composition des puissances semblables, appliquées à des solides sem-

blables, termine ce fragment sans l'achever ; du premier livre du *Traité de Mécanique* annoncé à Hevelius, livre dont la lettre écrite en 1636 à Fermat nous permet de deviner le plan, la plus grande partie, et la plus neuve, fait défaut.

Le second livre de ce traité était consacré à la balance ; c'est sans doute à ce second livre qu'était destinée la *Demonstratio mechanica* conservée par le Manuscrit de la Bibliothèque Nationale. Cette *démonstration mécanique* est celle de la loi du levier ; comme forme, elle imite les rigoureuses déductions des géomètres grecs ; comme fond, elle se rapproche de celle qu'avaient adoptée Stevin et Galilée.

Selon la lettre qu'il adressait à Hevelius, Roberval traitait, en son troisième livre, « du centre des vertus des puissances en particulier ». Qu'entendait-il par là ? Sans doute la recherche géométrique des centres de gravité de certaines figures, recherche à laquelle il avait consacré une bonne part de son talent de géomètre. Nous trouvons, probablement, une partie des matériaux qui sont entrés dans la composition de ce livre, lorsque nous lisons, au Manuscrit que conserve la Bibliothèque Nationale, la *Proposition de Monsr de Roberval qui sert à trouver le centre de gravité* et le *Theorema lemmaticum ad invenienda centra gravitatis mire inserviens a D. D. Roberval, anno 1645.*

La proposition qui fait le principal objet de ces deux écrits énonce la propriété fondamentale du centre de gravité d'un nombre quelconque de points matériels : Le moment, par rapport à un plan quelconque, de la masse totale des points, réunie en leur centre de gravité, est égal à la somme algébrique des moments de ces points par rapport au même plan. Ce théorème se trouvait implicitement à la base de toutes les recherches de centres de gravité, aussi bien de celles qui avaient été accomplies dans l'antiquité par Archimède ou Pappus que de celles

qui avaient été poursuivies dans les temps modernes par Commandin, Maurolycus, Guido Ubaldo, Stevin et Luca Valerio ; ou, pour mieux dire, ces recherches utilisaient un cas particulier de ce théorème, le cas où le plan choisi passe par le centre de gravité ; mais jamais, croyons-nous, il n'avait été énoncé et démontré dans son entière généralité.

La démonstration de Roberval procède avec ce luxe compliqué d'appareil déductif où se complaisait habituellement notre géomètre ; en la rédaction latine du *Theorema lemmaticum*, ce luxe est vraiment excessif ; on souhaiterait plus de brièveté et de simplicité. A cette rédaction, d'ailleurs, sont jointes d'intéressantes applications du lemme qui y est démontré ; ces applications concernent la recherche des centres de gravité du demi-cercle, de la demi-circonférence, de la trochoïde (1), de la courbe associée à la trochoïde et du triangle.

Que le troisième livre annoncé à Hevelius eût bien pour objet la recherche des centres de gravité particuliers, nous en trouvons la confirmation dans le titre du quatrième livre : « Quartus, de fure mira continet ». Roberval y voulait, sans doute, rapporter l'étrange larcin dont il fut victime de la part de Torricelli ; Pascal nous a conté, dans l'*Histoire de la Roulette*, cet impudent plagiat (2).

Un fragment sur les corps flottants : *Proposition fondamentale pour les corps flottants sur l'eau*, termine le cahier manuscrit conservé à la Bibliothèque Nationale ; il eût servi, sans doute, à la composition du sixième livre du *Traité de mécanique*.

Notre manuscrit ne renferme rien qui ait trait aux mouvements composés, dont devait s'occuper le septième

(1) C'est le nom par lequel Roberval désigne la courbe que Pascal nomme la *roulette* et que l'on appelle communément aujourd'hui la *cycloïde*, selon la proposition de Beaugrand.

(2) *Œuvres complètes* de Blaise Pascal, tome III, p. 338 ; Paris, Hachette, 1880.

livre ; comme nous l'avons dit, le *Projet d'un livre de Mécanique traitant des mouvements composés*, qui fut publié en 1693, semble un essai de rédaction du début de ce livre.

L'objet du huitième livre était le centre de percussion des puissances mobiles, au sujet duquel une si vive discussion s'était élevée entre Roberval et Descartes. Le manuscrit de la Bibliothèque Nationale ne contient rien qui ait trait à cet objet.

Si nous laissons de côté le traité élémentaire dont nous parlerons tout à l'heure, nous ne trouvons rien non plus, en notre manuscrit, qui ait pu entrer dans la composition du cinquième livre, consacré « aux instruments et aux machines ». Cette lacune est particulièrement regrettable ; c'est en ce livre, assurément, que Roberval eût exposé en entier les démonstrations dont le *Traité de Méchanique*, inséré en l'*Harmonie universelle* de Mersenne (1), contenait seulement l'ébauche.

Ainsi nous ne possédons point le *Traité de Mécanique* que Roberval avait composé, comme en témoigne sa lettre à Hevelius ; le cahier manuscrit conservé à la Bibliothèque Nationale nous présente seulement certains fragments que Roberval avait, semble-t-il, fait réunir et classer pour les employer dans la construction de ce grand ouvrage.

Si incomplets et disparates que soient les matériaux réunis sous nos yeux, ils suffisent à nous faire deviner les proportions et le plan de l'édifice achevé ; la perte de cette œuvre paraît être définitive ; elle mérite de vifs regrets. Le *Traité de Mécanique* de Roberval était, à coup sûr, un monument ample et puissant, où les doctrines élaborées au début du XVIIe siècle se trouvaient ordonnées et classées ; le souci de la déduction rigoureuse, poussé jusqu'à la minutie, le rendait certainement prolixe et compliqué ; mais les géomètres qui souhaitaient que la science de

(1) Ce traité était aussi vendu séparément à Paris, par Richard Charlemagne, rue des Amandiers, à la Vérité Royalle, MDCXXXVI.

l'équilibre fût développée avec une parfaite clarté y trouvaient l'entière satisfaction de leurs désirs.

Roberval ne s'était pas seulement soucié des aspirations des géomètres, amis des savantes et rigoureuses déductions ; il avait aussi songé aux besoins des artisans ; ceux-ci n'ont ni assez de force d'esprit, ni assez de loisir, pour suivre les raisonnements par lesquels, d'un petit nombre de postulats simples et généraux, on peut tirer avec méthode les diverses lois de la Mécanique ; et cependant, il leur est nécessaire d'user de ces lois, partant d'en prendre une connaissance claire, précise et assurée. C'est pour leur procurer l'avantage d'une telle connaissance que fut sans doute composé le *Traicté de Mechanique et specialement de la conduitte et elevation des eaux, par Monsieur de Roberval*, traité dont le texte, malheureusement inachevé, occupe la plus grande partie du Manuscrit de la Bibliothèque Nationale.

Ce *Traicté de Méchanique* n'est pas daté ; mais un passage qu'il renferme nous peut donner une indication sur l'époque où il fut composé. Traitant de l'élévation des eaux au moyen du « Syphon », Roberval s'exprime en ces termes (1) :

« Et quoyque par ce moyen il semble qu'on peut faire passer l'eau par une haute montaigne, touttefois on se souviendra qu'une telle conduitte d'eau est impossible aux lieux plus haults que 32 pieds de France, et qu'un peu au dessoubs de 32 pieds, elle est fort mal asseurée par deux raisons. La première qu'il est fort difficile que le Syphon soit si bien soudé que l'air n'y trouve bientost passage, et par ce moyen le Syphon s'emplissant d'air, l'eau ne coule plus. L'autre raison est qu'en une grande haulteur il faut un syphon trop hault, ainsy il est subject à crever. »

L'expérience de Torricelli a mis en la pression de

(1) Roberval, *loc. cit.*, fol. 176, verso.

l'atmosphère la raison véritable des effets que mentionne Roberval. Il est clair que celui-ci n'a encore, à l'époque où il rédige son *Traicté de Méchanique*, aucune idée de cette expérience célèbre. Or c'est en 1644, qu'au retour d'un voyage en Italie, Mersenne répéta à Paris l'expérience de Torricelli et « la divulgua en France, non sans l'admiration de tous les savans et curieux » (1). Familier de Mersenne, Roberval dut connaître un des premiers l'importante « expérience d'Italie ». Si donc il l'ignore en son *Traicté de Méchanique*, c'est apparemment que ce traité fut rédigé avant 1644.

En ce *Traicté de Méchanique*, plus de définitions, de postulats, de déductions ; mais un exposé très clair, très simple, très exempt de prétentions à la science abstruse, présente les principaux enseignements de la Mécanique; en lisant ce petit ouvrage, on se prend parfois à songer au *Traité de l'équilibre des liqueurs* et au *Traité de la pesanteur de la masse de l'air*, ces deux immortels chefs-d'œuvre de Pascal ; le *Traicté de Méchanique* de Roberval procède du même esprit.

La Dynamique, la Mécanique des fluides en forment la plus grande partie. « Mais auparavant, dit l'auteur, nous donnerons quelque cognoissance des Instruments de la Méchanique, sçavoir autant qu'il en sera besoin pour fabriquer ceux qui servent à nostre dessein de la conduitte et elevation des eaux ». Voilà pourquoi le traité débute par l'étude des « cinq genres principaux d'instruments réguliers et dont les forces sont cognües, sçavoir la balance, le levier, la roüe avec son aissieu, les poulies ou les moufles, et le plan incliné auquel se reduisent le coin et la visz ».

C'est en cet écrit que l'on peut retrouver les marques de l'influence exercée sur Roberval par Bernardino Baldi ; nous avons relevé ailleurs (2) quelques-unes de ces mar-

(1) Pascal, *Nouvelles expériences touchant le vide ;* au lecteur (*Œuvres complètes* de Blaise Pascal, Éd. Hachette, 1880 ; p. 1).

(2) Cf. P. Duhem, *Bernardino Baldi, Roberval et Descartes* (Bulletin Italien, t. VI, janvier 1906).

ques ; citons seulement ici la discussion touchant la stabilité et la sensibilité de la balance ; non seulement Roberval y reproduit fort exactement ce que Baldi avait dit à ce sujet (1), mais encore il transforme en une erreur formelle un passage douteux écrit par l'abbé de Guastalla ; parlant des balances où le centre de gravité du fléau se trouve au-dessous de l'axe de rotation, Roberval s'exprime en ces termes (2) : « La troisiesme sorte est sujette à tromper, quand le centre de pesanteur est au dessoubs de celuy du mouvement. »

Ce n'est pas en ce traité élémentaire qu'il nous faut chercher aucune vérité nouvelle de Statique ; Roberval se borne à formuler avec clarté et simplicité les lois qui étaient déja connues par les travaux de ses prédécesseurs ou par les siens ; c'est ainsi que les proprietés du plan incliné sont exposées avec grand soin. Contentons-nous de citer ce passage (3), relatif à l'égalité du travail moteur et du travail résistant dans les machines ; il ne diffère guère de ce que nous avons lu au *De subtilitate* de Cardan ou en *La Raison des forces mouvantes* de Salomon de Caus :

« Enfin il faut remarquer, ce qui est vray non seulement au levier, mais aussy en tous les autres instruments, touchant le mouvement et le chemin que font les poids et la puissance qui les meut par le moyen de l'instrument, sçavoir que s'ils agissent par des bras égaux ou par des distances égales, ils font des chemins égaux ; s'ils agissent par des distances inégales, celuy qui agit par la plus grande fait le plus de chemin, à proportion que sa distance est plus grande, et partant, il s'ensuit que le moindre des deux, soit la puissance ou le poid, estant celuy qui, en récompense, doit avoir le plus grand bras ou la plus grande distance, sera aussy celuy qui aura le plus de chemin. Il

(1) V. ci-dessus, Chapitre XV, 2e Période ; p. 135.
(2) Bibliothèque Nationale (fonds latin), Ms. 7226, fol. 89, recto.
(3) Bibliothèque Nationale, (fonds latin), Ms. 7226, fol. 99, verso.

s'ensuit encore que, à proportion, il faudra plus de temps à celuy qui agira par le plus grand bras pour faire cheminer l'autre, ou au contraire. Par exemple, posant une petite puissance, laquelle doit mouvoir un grand poid, il faudra que cette petite puissance ayt, à proportion, un plus grand bras, et partant qu'elle fasse beaucoup de chemin, et ainsy qu'elle employe beaucoup de temps, pendant que le poid fera beaucoup moins de chemin ; sçavoir que si le bras de la puissance est 10 fois aussy grand [que celuy du poid] (1), il faudra que pour faire cheminer un pied, elle chemine dix pieds ; par ce moyen, le poid se meut fort lentement, et faut beaucoup de temps pour faire cheminer assez peu.

» Ce que nous venons de dire est pour donner advertissement qu'il ne faut point espérer d'espargner ensemble du temps et de la puissance, ny faire un grand effect avec peu de force, sinon en beaucoup de temps ; et en quoy se trompent ordinairement les ignorants qui sont cause de se faire mocquer d'eux, et de la science aussy, sur laquelle les autres ignorants en rejettent souvent la faulte mal à propos. »

Roberval a donc consacré une très grande part de son activité scientifique à composer un vaste et rigoureux traité de Mécanique à l'usage des géomètres, à rédiger un exposé élémentaire de cette même science pour la commodité des artisans. Mais, selon son étrange coutume, il n'a point fait imprimer ces deux ouvrages ; le premier est aujourd'hui perdu, le second est encore inédit. Aussi ces *Traités de Mécanique,* demeurés inconnus, ne pouvaient-ils satisfaire au besoin de plus en plus pressant qui poussait aussi bien les géomètres que les artisans à désirer une Statique complète et coordonnée.

(1) A la place de ces mots, le texte, par erreur évidente du copiste, dit : qu'elle.

3. *John Wallis (1616-1703)*

Les géomètres, sinon les artisans, virent bientôt leur désir comblé par la publication du traité (1) monumental qu'avait composé John Wallis.

En effet, les trois volumes consacrés par le grand géomètre anglais à la Statique, à la Dynamique, à l'Hydrostatique, sont un véritable monument élevé à la Mécanique, le plus ample, le plus systématique qui ait été composé depuis l'œuvre de Stevin.

La Statique de Wallis n'est point, d'ailleurs, sans analogie avec la Statique de Stevin. On y trouve le même souci, parfois exagéré, de rigueur géométrique, le même désir de ne laisser passer aucune supposition, si claire soit-elle, aucun corollaire, si évident qu'on l'imagine, sans qu'un énoncé formel et précis les signale. On éprouve aussi, il faut bien l'avouer, à la lecture de ces deux ouvrages, la même fatigue causée par l'usage excessif d'un appareil logique si compliqué.

Sur quelle hypothèse doit-on faire reposer toute la Statique ?

En toute machine, deux *puissances (potentiæ)* s'opposent l'une à l'autre et doivent se contrebalancer exactement pour que l'équilibre s'établisse ; l'une est la *force motrice (vis motrix)*, l'autre la *résistance (resistentia)* ; comment évaluera-t-on ce dont chacune d'elles est capable, soit pour déterminer le mouvement de la machine, soit pour l'empêcher ?

(1) Johannis Wallis *Mechanica, sive de Motu. Tractatus geometricus.* Pars prima, in qua De motu generalia, De gravium descensu et motuum declivitate, De libra. Londini, MDCLXIX. — Pars secunda, quæ est de centro gravitatis ejusque calculo. Londini, MDCLXX.— Pars tertia, in qua De vecte, ..., De cuneo, De elatere et resilitione seu reflexione, De hydrostaticis et aëris æquipondio, variisque quæstionibus mechanicis. Londini, MDCLXXI. — Réimprimé dans : Johannis Wallis *Opera mathematica.* Volumen primum. Oxoniæ, e Theatro Sheldoniano, MDCXCV.

Deux solutions sont en présence.

L'une est celle que Galilée a tirée de l'ancienne Dynamique péripatéticienne : Pour connaître ce dont est capable un poids, qu'il soit moteur ou résistant, on calculera son *momento*, c'est-à-dire qu'on multipliera ce poids par la *vitesse* du mouvement de son point d'application ou mieux par la projection de cette vitesse sur la verticale.

L'autre est celle qui a pris naissance au sein de l'École de Jordanus, qu'Herigone et Roberval ont adoptée, que Descartes a formulée avec netteté et défendue avec âpreté : Pour déterminer ce dont un poids est capable, on multipliera ce poids par le *chemin* que décrit son point d'application ou, pour parler plus exactement, par la projection de ce chemin sur la verticale.

Entre les deux solutions, Wallis hésite (1) et, au lieu de résoudre son hésitation en une décision nette, en un choix non équivoque, il adopte une étrange demi-mesure, une véritable cote mal taillée.

Ce que peut la force motrice aura pour mesure le *momentum* de cette force ; la capacité de la résistance sera marquée par son *impedimentum*. Or, tandis que le *momentum* sera le produit de la force motrice par la vitesse du point d'application, l'*impedimentum* s'obtiendra en multipliant la résistance par le chemin que parcourt le point où elle s'applique :

« *Momentum* appello, id quod motui efficiendo conducit.

» *Impedimentum*, id quod motui obstat, vel eum impedit.

» *Momentum* eadem ratione a verbo *moveo* descendit, atque *Impedimentum* ab *impedio*...

» Ad *momentum* refero *vim motricem* et *celeritatem* (2). Quæ, quo majora sunt, eo magis efficitur motus.

(1) Johannis Wallis *Mechanica*. Pars prima. Cap. I : De motu generalia.

(2) Par un lapsus évident, Wallis dit ici : *tempus*, au lieu de : *celeritatem*.

« Ad *impedimentum* refero *resistentiam* et *distantiam*. Quæ, quo majora sunt, eo magis motus impeditur. »

Il n'est point permis de dire que l'équilibre est produit par l'égalité entre le *momentum* et l'*impedimentum* ; ce sont grandeurs d'espèces différentes, entre lesquelles il ne peut y avoir égalité ; un *momentum* qui équilibre exactement un *impedimentum* ne lui est point égal ; selon l'expression adoptée par Wallis, il lui est *équipollent*.

Cette cote mal taillée entre la doctrine Galiléenne et la doctrine Cartésienne ne peut que compliquer inutilement les propositions de la Statique ; elle rend infiniment gauche et pénible le premier Chapitre de la Mécanique de Wallis. Ce grand géomètre l'a sans doute reconnu, car il n'a pu garder cette étrange demi-mesure et, à partir du second Chapitre (1), il est devenu résolument Cartésien.

Un grave, dit-il, tant qu'il n'en est point empêché, tend à descendre ; il ne descend qu'autant qu'il s'approche du centre de la Terre ; il ne monte qu'autant qu'il s'en éloigne. Sa propension à un mouvement déterminé est mesurée par la *grandeur de sa descente* en ce mouvement ; sa répugnance à un certain déplacement par la *grandeur de son ascension* en ce déplacement. La *grandeur de la descente* d'un poids est le produit de ce poids par la hauteur dont il s'est abaissé ; la *grandeur de l'ascension* est, de même, le produit du poids par la hauteur dont il s'est élevé.

Lorsqu'on a affaire à un système de plusieurs graves, on peut former, d'une part, la somme de toutes les descentes et, d'autre part, la somme de toutes les ascensions ; si la première somme excède la seconde, l'excès représente la grandeur de la descente totale ; si la seconde somme surpasse la première, l'excès représente la grandeur de l'ascension totale ; entre ces deux cas, se place celui où la somme des descentes est précisément égale à la somme des ascensions.

(1) Johannis Wallis *Mechanica*, Pars prima, Cap. II. De gravium descensu et motuum declivitate.

Dans le premier cas, le système tend à se mouvoir dans le sens qui a été supposé réalisé lorsqu'on a calculé les descentes et les ascensions partielles ; dans le second cas, il tend à prendre le mouvement contraire ; dans le troisième cas, il ne tend à se mouvoir ni dans un sens, ni dans l'autre ; il demeure en équilibre.

Tels sont les principes que formule Wallis, donnant une forme très générale à l'axiome Cartésien.

Cet axiome, le grand géomètre anglais va le généraliser encore davantage.

Descartes avait presque continuellement supposé que les forces en balance fussent des poids, et il avait borné à ce cas l'énoncé de son principe de Statique. Nous avons fait remarquer, au Chapitre XIV, combien il était aisé de l'étendre à tel point qu'il pût s'appliquer à toute espèce de forces. Bien que la possibilité de cette extension n'ait pu échapper à la clairvoyance du grand philosophe, celui-ci avait négligé d'en donner la formule. Cette généralisation, Wallis va la signaler et y insister.

Il remarque (1) d'abord, comme Descartes l'avait fait avant lui, que le principe fondamental de la Statique n'implique aucune hypothèse au sujet de la nature de la gravité ; que l'on y voie une qualité innée en tout corps pesant ; ou bien une attraction, analogue aux actions électriques et magnétiques, exercée par la Terre ; ou bien une pression qui pousse les graves vers le centre du globe, peu importe. Il suffit que l'on entende sous le nom de gravité la force qui se manifeste aux sens, la force qui meut les corps graves vers le bas, quelle qu'en soit la nature.

Mais si les lois de Statique qui concernent la gravité n'ont rien qui dépende de la nature particulière de cette force, elles doivent s'étendre, *mutatis mutandis*, à toute sorte de forces : « Ce que nous avons dit au sujet de la gravité et du centre de la Terre peut se répéter de n'im-

(1) Johannis Wallis *Mechanica*, Pars prima, Cap. I, Art. XII.

porte quelle force motrice et du terme vers lequel elle tend. »

« La descente d'un grave est mesurée (1) par la quantité dont il s'est approché du centre de la Terre ; son ascension, par la quantité dont il s'en est éloigné. Aussi, d'une manière entièrement générale, le progrès dû à une force motrice est mesuré par le mouvement effectué dans la direction de cette force, le recul par le mouvement en sens contraire. »

« Les valeurs (2) des descentes de divers graves sont entre elles dans le même rapport que les produits des poids par les hauteurs de chute ; les ascensions s'évaluent d'une manière semblable... D'une manière entièrement générale, les progrès ou les reculs effectués sous l'action de forces motrices quelconques s'évaluent en formant les produits des forces par les longueurs des progrès ou des reculs estimés selon la ligne de direction des forces. »

La règle est donc bien claire, qui permet de passer du cas de la pesanteur au cas d'une force quelconque ; il est maintenant facile à Wallis de poser les fondements d'une Statique entièrement générale ; il lui suffit, à la suite des énoncés (3) où il formule les hypothèses sur lesquelles repose la Statique des corps pesants, d'ajouter ces mots : « Idem intellige, mutatis mutandis, de quacumque vi motrice ».

Ainsi se trouve formulé le principe fondamental de cette Statique où le géomètre anglais montre une profonde pénétration des écrits de ses prédécesseurs, aussi bien de Torricelli (4) que de Jordanus (5), de Tartaglia et de Guido-Ubaldo.

(1) Johannis Wallis *Mechanica*, Pars prima, Cap. II, Prop. III.

(2) Id., *ibid.*, Pars prima, Cap. II, Prop. V.

(3) Id., *ibid.*, Propp. VI et VIII.

(4) Cf. : Id., *ibid.*, Cap. III, De libra, où se manifeste une évidente influence de Torricelli.

(5) Cf. : Id., *ibid.*, Cap. III ; en particulier, voir la Prop. XIV et les deux scholies.

Pour tirer ce principe de celui qu'avait formulé Descartes, quelle besogne Wallis a-t-il dû accomplir ? Presque aucune. Il lui a suffi d'expliciter certaines affirmations qui demeuraient implicites dans l'essai du grand philosophe, de produire certaines généralisations dont la nécessité était évidente de prime abord.

D'autre part, lorsque Jean Bernoulli voudra énoncer le principe des déplacements virtuels, quelle transformation devra-t-il faire subir au postulat de Wallis ? Presque aucune. Ce que Wallis considère lorsqu'il veut évaluer la tendance d'une force à produire un mouvement déterminé, c'est ce que l'on a nommé depuis le *moment virtuel* ou le *travail virtuel* de cette force ; c'est par l'égalité entre la somme des moments virtuels positifs et la somme des moments virtuels négatifs qu'il caractérise l'équilibre.

Assurément, en ses énoncés, Wallis considère des déplacements virtuels finis, qu'il suppose rectilignes ; il suppose que les forces sont constantes en grandeur et en direction. Mais déjà, il entrevoit les procédés infinitésimaux qui permettront de se débarrasser de ces entraves ; il reconnaît (1), comme Descartes l'avait déjà reconnu avant lui, qu'une trajectoire curviligne peut être remplacée par sa tangente, une surface courbe sur laquelle le poids s'appuie par son plan tangent ; il aperçoit (2) l'artifice analogue qui permettra de considérer des forces variables en grandeur et en direction.

Lorsque Jean Bernoulli voudra donner sa formule définitive au principe des déplacements virtuels, il lui suffira de réunir les énoncés épars dans le traité de Wallis et de les revêtir de la forme infinitésimale.

C'est donc par une simple nuance que le principe de Wallis se distingue de celui de Descartes ; c'est par une nuance moins perceptible encore que la formule de Jean Bernoulli se sépare de la formule de Wallis. Or, trente-

(1) Johannis Wallis *Mechanica*, Pars prima, Cap. II, Prop. XV.
(2) Id., *ibid.*, Prop. XVII. Scholium.

deux années se sont écoulées entre la lettre de Descartes à Constantin Huygens et la Statique de Wallis, tandis que quarante-huit ans séparent la publication de cette Statique de la lettre que Jean Bernoulli écrivit à Varignon. Tant est lent et pénible le progrès de la vérité en la science humaine !

4. *Les grands traités de Statique de l'École jésuite — Le P. De Challes (1621-1678) — Le P. Paolo Casati (1617-1707)*

Composé suivant les règles d'une logique trop savante et trop compliquée, borné d'ailleurs à l'étude des machines les plus simples, le traité de Wallis n'était point propre à satisfaire les désirs de la plupart des physiciens ou des artisans.

« Les traitez, écrivait (1) le P. Pardies en 1673, qu'on a publiez des loix du mouvement, de la résistance des corps, de la force des percussions, de l'équilibre des liqueurs, de la dureté, de la pesanteur, et beaucoup d'autres, sont asseûrement des ouvrages dignes de la subtilité de leurs auteurs, et de la politesse du siècle ; mais après tout, on ne peut pas dire que ce soit là une Méchanique. Ce sont de belles parties, mais elles ne sont pas un corps, puisque ce sont des productions de divers Auteurs, qui ont eû diverses veûës, qui n'ont point concerté ensemble, pour concourir à un même dessein, et qui même ont raisonné sur des principes differens.

» J'avais toûjours espéré que ce grand ouvrage de M. Wallis, que nous attendions depuis si longtemps, comprendrait tout ce qu'on peut souhaiter sur ce sujet ;

(1) *La Statique ou la science des forces mouvantes*, par le P. Ignace Gaston Pardies, de la Compagnie de Jésus. Paris, chez Sebast. Mabre-Cramoisy, Imprimeur du Roy, Ruë St Jacques, aux Cicognes, MDCLXXIII. Préface.

et je n'en doutois presque plus, quand je vis trois grands tomes in-4° sous le titre de *Méchanique* et de *Science du Mouvement*. Mais j'ay trouvé que cet Ouvrage excellent en soy et admirable, est plus propre à contenter ceux qui sont déjà consommez dans cette science, qu'à instruire ceux qui veulent l'apprendre ; car outre qu'il s'en faut bien qu'il ne comprenne tout, il est écrit d'une manière si sçavante et si géométrique qu'il y a fort peu de personnes capables de le comprendre. »

A l'époque où le P. Pardies écrivait ces lignes, le désir de posséder un traité de Mécanique à la fois aisé et complet, était si commun et si vif que Louis XIV et Colbert s'en émurent ; en 1675, ils entretinrent l'Académie des Sciences de ce désir et la pressèrent d'y donner satisfaction:

« Le Roi (1) voulut que l'Académie travaillât incessamment à un Traité de Méchanique, où la Théorie et la Pratique fussent expliquées d'une manière claire et à la portée de tous ; on devoit cependant séparer de la Théorie tout ce qui pouvoit appartenir de trop près à la Physique, tout ce qui pouvait faire naître de la dispute, on devoit le renfermer dans une espèce d'Introduction à tout l'Ouvrage. On décriroit ensuite dans l'Ouvrage même toutes les Machines en usage dans la Pratique des Arts, soit en France, soit dans les Pays Étrangers.

» Ce fut ce que M. Colbert fit sçavoir par M. Perrault à l'Académie, le 19 Juin de cette année. La Compagnie fit dans le cours de quelques Assemblées ses Réflexions sur ce sujet ; et M. Du Hamel fut chargé de rendre compte à M. Colbert du résultat des Ecrits de chacun. MM. Picard, Hughuens, Mariotte et Blondel travaillèrent de concert aux Préliminaires ; MM. de Roberval et Roëmer traittèrent aussi cette Matière en particulier ; on chargea M. Buot de dresser le Catalogue des Machines,

(1) Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Tome I : Depuis son établissement en 1666 jusqu'à 1686. Paris, MDCCXXXIII, p. 199.

et d'en faire faire les Desseins ; on lui donna pour aides M. Couplet, et MM. Pasquier et Du Vivier. »

L'ouvrage demandé à l'Académie ne vit jamais le jour, que je sache ; mais les traités de Mécanique rédigés par des particuliers se pressèrent, de plus en plus nombreux.

Ces traités, malheureusement, n'étaient point seulement fort nombreux ; ils étaient souvent fort médiocres. Parmi leurs auteurs, les uns, préoccupés de ne rien omettre, mais peu soucieux de l'unité, ramassaient pêle-mêle et sans choix tout ce qui avait été dit sur la Statique ; d'autres, au contraire, par une critique pointilleuse et malveillante, rejetaient même les vérités les plus sûres et les principes les plus féconds.

C'est un ouvrage (1) d'aspect imposant et antique que le *Cours ou Monde Mathématique* du P. Claude François Milliet Dechales ou De Challes. Les déductions et les discussions s'y poursuivent selon la méthode lente, sévère et rigoureuse de la Scolastique.

En ces discussions aux formes péripatéticiennes, on devine la continuelle influence de très vieux auteurs ; non seulement le *Synopsis* de Mersenne a été mis à contribution (2), mais à chaque instant, on retrouve des allusions au traité du Précurseur de Léonard de Vinci, au *Jordani Opusculum de ponderositate* édité par Curtius Trojanus ; ici (3), le savant Jésuite réfute l'opinion de cet auteur

(1) R. P. Claudii Francisci Milliet Dechales, Camberiensis, e Societate Jesu, *Cursus seu Mundus mathematicus*. Tomus secundus, complectens Geometriam practicam, Staticam, Geographiam, Tractat. de Magnete, Architectonicam civilem, Artem tignariam, et Tractat. de Lapidum sectione. — Editio altera, ex manuscriptis Authoris aucta et emendata, operâ et studio R. P. Amati Varcin, ejusdem Societatis. — Lugduni, apud Anissonios, Joan. Posuel et Claud. Rigaud. MDCLXXXX.

La première édition, en deux volumes, du *Cursus seu Mundus mathematicus* parut à Lyon en 1674 ; je n'ai pu la consulter.

(2) *Ibid.* Tractatus nonus : Statica, seu de Gravitate Terræ. Liber octavus : Proprietates centri gravitatis et lineæ directionis.

(3) *Ibid.* Tractatus octavus : Mechanica. Liber Primus : De vera causa et principio augmenti potentiæ per machinam.

touchant l'influence que le milieu exerce sur le mouvement des projectiles ; là (1), il lui emprunte la démonstration de la règle du levier ou certaines propositions (2) touchant la balance.

Il est vrai que le P. De Challes rajeunit parfois d'assez étrange façon les emprunts qu'il fait à d'anciens mécaniciens ; ce qu'il prend dans leurs œuvres, il l'attribue volontiers à quelques-uns de ses contemporains qui sont ses confrères ou ses amis.

Ainsi la démonstration de la loi du levier composée par Stevin et par Galilée, à l'imitation d'un raisonnement connu dès le XIII[e] siècle, est donnée (3) par le P. De Challes comme étant du P. Léotaud (1595-1672), son confrère en la Société de Jésus. La réduction du problème du plan incliné au problème du levier, effectuée par Galilée dès ses premiers travaux, conservée par Roberval, reprise en sens inverse par Descartes, est (4) « de mon ami, M. Reynaud, homme fort versé aux mathématiques ».

Le Principe de Statique admis par le P. De Challes est exactement celui qu'Aristote postule en ses *Quæstiones mechanicæ ;* mais au cours de son exposé, ce principe se transforme peu à peu comme il s'est transformé dans les écrits de Galilée.

Pour évaluer l'effet mécanique d'un poids, il faut connaître sa *quantité de mouvement* ; « cette quantité de mouvement s'obtient (5) en multipliant le nombre des parties du poids par la vitesse ; et comme nous ne con-

(1) *Cursus seu Mundus mathematicus.* Tractatus nonus : Statica, seu de Gravitate Terræ. Liber tertius : De descensu gravium in planis inclinatis et funependulis : Definitiones — Liber quartus : De æquiponderantibus. Propositio IV.

(2) *Ibid.* Tractatus nonus : Statica, seu de Gravitate Terræ. Liber quartus : De æquiponderantibus. Prop. XV.

(3) *Ibid.* Tractatus octavus : Mechanica. Liber primus : De vera causa et principio augmenti potentiæ per machinam, p. 168.

(4) *Ibid.* Tractatus nonus : Statica seu de Gravitate Terræ. Liber tertius : De descensu gravium in planis inclinatis et funependulis. Propositio VIII.

(5) *Ibid.* Tractatus octavus : Mechanica. Liber primus : De vera causa et principio augmenti potentiæ per machinam. Prop. XVII.

naissons ni ne mesurons la vitesse autrement que par l'espace parcouru dans un temps déterminé, pour connaître la quantité de mouvement, il nous faudra multiplier le nombre des parties du poids par l'espace parcouru... »

Si, en une machine, deux poids s'opposent l'un à l'autre « de telle manière qu'il se trouve en chacun d'eux même quantité de mouvement, il y a équilibre ».

« Deux mobiles sont donc égaux en force (1) lorsque leurs grandeurs sont en raison inverse de leurs vitesses. » En sorte qu'« aucune machine n'augmente les forces de la puissance (2) ». « Si les forces de la puissance peuvent s'appliquer à un plus grand poids (3), c'est que la quantité de mouvement est diminuée dans le poids ou augmentée dans la puissance. » Donc « autant les forces de la puissance (4) sont accrues par la machine, autant est accru le rapport du mouvement de la puissance au mouvement du poids. »

Le principe qui vient d'être énoncé ne tarde pas à être mis en défaut si on ne le modifie ; ce n'est point la vitesse même d'un poids qui doit figurer dans le calcul de la résistance de ce poids, mais seulement la composante verticale de cette vitesse ; les observations les plus obvies signalent la nécessité de cette correction ; celle-ci, par exemple, qu'une même puissance, normale à un même levier, soutient un moindre poids lorsque le levier est horizontal que lorsqu'il est oblique (5). Il semble (6) que notre auteur ait surtout puisé l'intelligence de cette correction que réclame l'axiome d'Aristote en étudiant la

(1) *Cursus seu Mundus mathematicus*, loc. cit., Prop. XIX.
(2) *Ibid.*, loc. cit., Prop. XVIII.
(3) *Ibid.*, loc. cit., Prop. XVII.
(4) *Ibid.*, loc. cit., Prop. XIV.
(5) *Ibid.* Tractatus octavus : Mechanica. Liber secundus : De vecte. Propositio X.
(6) *Ibid.* Tractatus nonus : Statica seu de Gravitate Terræ. Liber tertius : De descensu gravium in planis inclinatis et funependulis. Definitiones.

première déduction où il en ait été fait usage, la démonstration de la règle du levier donnée par Jordanus de Nemore. Cette démonstration est, d'ailleurs, adoptée par le P. De Challes en sa théorie de la balance (1).

Du reste, fidèle en cela à la Dynamique péripatéticienne, c'est toujours la vitesse d'ascension ou de descente d'un grave, et non la hauteur dont il monte ou descend, que le P. De Challes considère dans ses raisonnements ; aussi sa théorie du plan incliné est-elle celle de Galilée (2), et non point celle de Descartes.

Cette théorie débute par une curieuse proposition (3), difficile à concilier avec celles qui la suivent. Le P. De Challes cherche pourquoi une sphère roule d'autant moins vite sur un plan que ce plan est moins incliné ; il en trouve la raison dans le contrepoids formé par une partie de la sphère ; son raisonnement rappelle les déductions de Pappus et, plus encore, celles de Léonard de Vinci et de Bernardino Baldi.

La méthode par laquelle il traite (4) la composition des forces concourantes rappelle également de très près celle que Léonard avait un instant adoptée. De Challes suppose que deux cordes concourantes soutiennent un poids et il se propose de déterminer la tension de chacune d'elles. Dans ce but, il remplace celle des deux cordes dont il ne calcule pas la tension par une barre rigide mobile autour d'un de ses points ; la solution du problème est alors immédiate.

Comme Guido-Ubaldo, Villalpand et Mersenne, notre auteur admet (5) que « le centre de gravité d'aucun corps

(1) *Cursus seu Mundus mathematicus.* Tractatus nonus : Statica. Liber quartus : De æquiponderantibus. Propositio IV.

(2) *Ibid.* Liber tertius : De descensu gravium in planis inclinatis. Prop. II.

(3) *Ibid.*, loc. cit., Prop. I.

(4) *Ibid.*, loc. cit., Propp. X et XI.

(5) *Ibid.* Liber octavus : Proprietates centri gravitatis et lineæ directionis. Prop. I.

ne peut monter si ce n'est violemment ». Il fait l'application de ce principe aux exemples mêmes que Mersenne a cités, et qui sont de Léonard.

Ce principe, il le justifie par des raisonnements semblables à ceux de Villalpand, sans invoquer la sympathie du centre de gravité pour le centre commun des graves. Ce n'est pas que cette sympathie — si bien réfutée cependant, et depuis un demi-siècle — lui semble absurde ; témoin ce curieux passage (1) :

« *En tout corps grave, il existe un certain centre de gravité*... Le P. Léotaud s'est efforcé de prouver cette proposition, en partant de cette opinion commune, admise chez les Péripatéticiens : Le centre de l'Univers ou, si l'on veut, le centre de la Terre — peu importe — est le centre de tous les graves ; ils y sont tous portés par leur pesanteur et ils y demeurent en repos. Démonstration : Chaque grave se porte de tout son effort vers le centre de l'Univers de telle sorte que si l'on supprimait tout obstacle, il se dirigerait vers ce centre et y demeurerait. Mais il ne pourrait jamais demeurer en repos s'il n'existait à l'intérieur de ce corps un certain point ou centre de gravité, tel que le corps cesse de se mouvoir lorsque ce point coïncide avec le centre de l'Univers... Cette démonstration est bonne, mais nous verrons si l'on ne peut rien dire de plus convaincant. »

Le P. De Challes, en effet, n'est point sans éprouver quelques doutes à l'endroit des propriétés que les anciens attribuaient au centre de l'Univers ; il pense (2) que les graves, dans leur chute, pourraient bien chercher à s'unir non point au centre même de la Terre, mais à un noyau intérieur, qui serait lui-même dénué de pesanteur. Combien naïve et vieillotte paraît cette hypothèse, si l'on

(1) *Cursus seu Mundus mathematicus*. Tractatus nonus : Statica. Liber quartus : De æquiponderantibus. Petitio IV.

(2) *Ibid*. Liber primus : Digressiones physicæ. Digressio X.

songe qu'au moment où notre auteur l'émettait, Newton possédait déjà les fondements du système de la gravitation universelle !

Cette même impression de naïveté sénile se dégage de tout ce que le P. De Challes a écrit sur la Statique ; les découvertes quelque peu récentes, les idées quelque peu neuves semblent n'avoir pu trouver accès dans son système. Mais s'il ne rapporte presque rien qui ne sente son vieux temps, du moins conserve-t-il ce que les anciennes traditions avaient de précieux. Les puissantes pensées de Descartes et de Wallis sur la méthode des déplacements virtuels sont demeurées pour lui lettre morte ; du moins a-t-il gardé de cette méthode tout ce que Galilée en avait écrit. Un grave est en équilibre lorsque le centre de gravité est le plus bas possible ; il ne donne pas à ce principe la forme précise sous laquelle l'ont mis Torricelli et Pascal ; du moins le présente-t-il tel que l'ont exposé Cardan, Villalpand et Mersenne. Le respect extrême que notre auteur professe pour la tradition le rend peu accessible aux vérités nouvelles ; mais il en fait un conservateur jaloux des vérités anciennes.

S'il est, d'ailleurs, un lieu où l'on doive rencontrer le respect de la tradition, c'est assurément au sein d'un ordre religieux fortement constitué ; or le P. De Challes était Jésuite ; son ouvrage prend place en la longue série des écrits par lesquels la Compagnie de Jésus s'est efforcée, au XVII[e] siècle, de donner à la Statique une organisation logique.

A l'origine de ces efforts se placent les traités du P. Zucchi et du P. Honoré Fabri ; ces traités, non moins que l'enseignement donné par leurs auteurs soit au Collège Romain, soit au Collège que la Compagnie de Jésus possédait à Lyon, ont exercé une influence marquée sur les exposés de la Statique qui furent, ultérieurement, composés par des Jésuites.

Le P. Zucchi et le P. Fabri ont pris pour principe

fondamental de la Statique le principe des vitesses virtuelles sous la forme que lui avait donnée Galilée ; cette forme offrait en effet, à leurs yeux, un singulier avantage ; elle permettait de souder les lois découvertes par les staticiens modernes aux principes de la Mécanique péripatéticienne ; et l'on sait combien les Jésuites du XVIe et du XVIIe siècle ont attaché de prix à cette œuvre synthétique où la Physique d'Aristote, soigneusement maintenue en tous ses principes essentiels, se trouvait enrichie de toutes les acquisitions de la Science nouvelle.

Ce désir d'être à la fois péripatéticien fidèle et mécanicien très informé de la science de son temps animait assurément le P. De Challes ; il l'avait conduit à fonder sa Statique sur le principe que le P. Zucchi et le P. Honoré Fabri avaient adopté. Ce même désir anime le P. Paolo Casati ; il lui fait adopter le même parti.

Le P. Paolo Casati, de Plaisance (1617-1707), avait débuté dans la Mécanique, en 1655, par un curieux ouvrage intitulé : *Terra machinis mota* (1) ; une seconde édition, plus complète, de cet ouvrage parut en 1658 (2).

En cet écrit, trois interlocuteurs, auxquels le P. Casati a donné les noms de Galilée, de Mersenne et de Guldin, commentent le mot célèbre d'Archimède : « Donnez-moi un point d'appui et j'ébranlerai le Monde ». Ils s'efforcent de prouver que cette parole n'est point seulement une vaine jactance.

Stevin avait déjà émis une opinion analogue ; l'influence de Stevin est d'ailleurs visible dans le curieux dialogue

(1) *Terra machinis mota ejusque gravitas et dimensio. Dissertationes duæ quas... publice exposuit... Antonius Comes de Montfort.* Authore Paulo Casato e Societate Jesu. Romæ, typis hæredum Corbeletti, MDCLV.

(2) *Terra machinis mota. Dissertationes geometricæ, mechanicæ, physicæ, hydrostaticæ, in quibus machinarum conjugatarum vires inter se comparantur ; multiplici nova methodo Terræ magnitudo et gravitas investigatur ; Archimedes Terræ motionem spondens ab arrogantiæ suspicione vindicatur.* Authore Paulo Casato, e Societate Jesu. Romæ, ex typographia Ignatii de Lazaris, MDCLVIII.

composé par le P. Casati ; le guindeau y est nommé *pancratium ;* c'est précisément le nom proposé par Stevin, au passage même où il discute la proposition attribuée à Archimède.

Il est une autre influence dont nous pourrions, si nous en avions le loisir, relever les traces en divers passages du *Terra machinis mota ;* cette influence est celle de Léonard de Vinci. Assurément, l'enseignement de la Mécanique que les Jésuites donnaient dans leurs Collèges contenait de nombreux emprunts aux notes du grand peintre ; l'étude du *Cursus mathematicus* du P. De Challes nous a déjà révélé quelques-uns de ces emprunts ; nous pourrions, au *Terra machinis mota*, en signaler d'autres qui ont trait à certaines théories hydrostatiques ; d'autres encore s'offriront plus tard à nos remarques.

Les dialogues intitulés *Terra machinis mota* n'importent guère à la coordination des principes de la Statique ; c'est en un autre livre que le P. Casati a travaillé à cette coordination. Ce nouveau livre ne fut imprimé qu'en 1684 (1) ; mais en son avis *ad lectorem,* l'auteur nous apprend que dès l'année 1655, il en avait remis un résumé manuscrit à ses auditeurs du Collège Romain. L'écrit du P. Casati serait donc plus ancien que celui du P. De Challes ; entre ces deux écrits, on peut, d'ailleurs, établir de nombreux rapprochements ; non seulement ils procèdent du même esprit, mais, bien souvent, ils usent des mêmes démonstrations.

Le premier livre (2), consacré au centre de gravité, est en très grande partie emprunté à Bernardino Baldi, à Villalpand et à Mersenne, c'est-à-dire, en dernière analyse, à Léonard de Vinci. D'ailleurs, il semble parfois

(1) R. P. Pauli Casati Placentini, Societ. Jesu, *Mechanicorum libri octo, in quibus uno eodemque principio vectis vires physice explicantur et geometrice demonstrantur, atque machinarum omnis generis componendarum methodus proponitur.* Lugduni, apud Anissonios, Joan. Posuel et Claudium Rigaud, MDCLXXXIV.

(2) Id., *ibid.* Liber primus : De centro gravitatis.

que le P. Casati éprouve, en ses *Mecanicorum libri*, comme en ses précédents ouvrages, l'influence directe de Léonard ; une certaine suspension à galets (1), qui permet de sonner sans peine une lourde cloche, paraît presque textuellement extraite des notes du grand peintre (2). L'étude de la station des animaux, reproduite d'après ceux qui se sont inspirés de Léonard (3), donne occasion à l'auteur de formuler la loi du *polygone de sustentation* ; il semble même que le P. Casati soit le premier mécanicien qui ait fait usage de cette dénomination.

C'est en ce même livre que l'auteur traite (4) de la pesanteur apparente d'un grave placé sur un plan incliné ; pour déterminer cette pesanteur apparente, il raisonne à peu près exactement comme le P. Honoré Fabri ; « la pesanteur du corps sur le plan incliné est à sa pesanteur le long du plan vertical comme la résistance qu'il éprouve à monter suivant un de ces plans est à la résistance qu'il éprouve à monter suivant l'autre ; mais ces résistances sont entre elles comme les violences que le corps subit en ces mouvements », et ces violences sont en raison inverse des chemins que le corps doit parcourir en ces deux plans pour s'élever d'une même hauteur.

Casati distingue, d'ailleurs, entre la pesanteur apparente du corps placé sur un plan incliné *(gravitatio in plano inclinato)* et la pression qu'il exerce sur ce plan *(gravitatio in planum inclinatum)* ; l'analyse de Stevin lui eût permis de déterminer exactement cette dernière force ; mais il ne fait point appel à cette analyse ; renouvelant une erreur de Descartes, il formule (5) la proposition

(1) P. Casati, *Mecanicorum libri octo* ; lib. II, Cap. I, p. 150.

(2) *Les Manuscrits de Léonard de Vinci*, Ms. I de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 57 [9], verso.

(3) P. Casati, *Mecanicorum libri octo* ; liber primus : De centro gravitatis ; Cap. XI : Quomodo animalium motus ordinentur ex centro gravitatis.

(4) Id., *ibid.* ; Cap. XIII : Quâ ratione minuatur gravitatio in plano inclinato.

(5) Id., *ibid.* ; Cap. XIV : Quâ ratione corpus gravitet in planum inclinatum ; p. 88.

suivante : « Nous connaissons, par le Chapitre précédent, la puissance de la pesanteur du corps placé sur le plan incliné ; la différence entre la pesanteur du corps suivant le plan vertical et cette pesanteur du même corps placé sur le plan incliné est la mesure de l'obstacle apporté au mouvement du corps par le plan sous-jacent ; c'est donc aussi la mesure de la pression que le corps exerce sur ce plan. »

Au problème du plan incliné se ramène (1) la détermination du moment d'un poids fixé à une extrémité d'un bras de levier dont l'autre extrémité peut tourner autour du point d'appui ; ce moment est égal à la pesanteur apparente qu'aurait le même poids posé sur un plan normal au bras de levier ; l'artifice qui permet de passer d'un problème à l'autre est celui-là même qu'avait employé Descartes, celui dont Galilée et Roberval avaient usé en sens inverse.

Ce problème résolu, Casati passe (2) à la détermination des tensions de deux cordes qui portent un poids ; il l'obtient en suivant exactement la même marche que De Challes.

Les solutions des diverses questions de Statique qui ont été examinées au livre I[er] ont été tirées de postulats relatifs aux propriétés du centre de gravité ; ces postulats n'ont pas été ramenés aux lois générales du mouvement ; en son second livre (3), Casati se propose de déduire des principes de la Dynamique la théorie des diverses machines.

Les principes de Dynamique qu'expose notre auteur ont la plus grande affinité avec ceux qu'a formulés le P. Fabri ; ils reposent (4) en entier sur la considération

(1) P. Casati, *Mecanicarum libri octo* ; liber primus : De centro gravitatis ; Cap. XV : Inquiruntur rationes gravitationis corporum suspensorum ; p. 95.

(2) Id., *ibid.*, p. 100.

(3) Id., *ibid.* ; liber secundus : De causis motus machinalis.

(4) Id., *ibid.* ; Cap. II : Impetûs motum proxime efficientis natura explicatur ; p. 142.

d'un *impetus* proportionnel au produit du poids du corps mis en mouvement par la vitesse de ce mouvement.

Cette notion joue un rôle essentiel dans l'énoncé du principe sur lequel repose toute machine ; cet énoncé, Casati l'emprunte (1) encore presque textuellement à Fabri :

« Tout l'artifice de la Mécanique consiste donc à distribuer ses instruments de telle manière et à placer la puissance et la charge en de tels points que la puissance se meuve plus vite que la charge ; si l'on tient compte du rapport de leurs mouvements, on saura déterminer la puissance qui est capable de mouvoir une charge donnée ou la charge que peut lever une puissance donnée ; il faut, en effet, pour que ce mouvement soit possible, que le rapport de la puissance au poids de la charge surpasse le rapport du mouvement de la charge au mouvement de la puissance. La machine n'augmente pas les forces de la puissance, elle ne diminue pas le poids de la charge ; elle accommode simplement la résistance du poids à la vertu de la puissance.

» Cette loi a une cause physique. L'*impetus* produit par la puissance aurait, pour mouvoir un fardeau égal à la puissance, avec la même vitesse que la puissance, une intensité trop grande ; il a une intensité moindre lorsqu'il s'agit de mouvoir plus lentement un fardeau plus grand ; mais cette intensité suffit, en raison de la résistance plus faible...

» On voit donc qu'une sorte de justice règne sans cesse entre les forces de la puissance, la pesanteur de la charge, les espaces parcourus par les mouvements et les durées de ces mouvements ; là où les forces de la puissance diminuent, où la pesanteur de la charge augmente, les espaces parcourus par la charge deviennent plus courts et les durées de ces parcours plus longues ; en revanche, les

(1) P. Casati, *Mecanicorum libri octo ;* liber secundus : De causis motus machinalis ; Cap. V : In quo machinarum vires sitæ sint ; pp. 171-172.

espaces parcourus par la puissance deviennent plus longs, car cette puissance plus faible doit se mouvoir plus rapidement que la charge. Si donc on veut soulever un fardeau plus lourd, on doit augmenter la puissance ou bien, si l'on veut garder une puissance invariable, on doit soit diminuer le mouvement de la charge, soit augmenter le mouvement de la puissance ; avec une petite puissance, on ne saurait mouvoir rapidement un grand poids. »

C'est la Statique d'Aristote, et non celle de Galilée, qu'exposent ces divers passages ; mais le P. Casati n'ignore pas la modification que l'étude du plan incliné a contraint le géomètre de Pise d'apporter au principe péripatéticien ; nous l'avons vu reproduire une solution exacte de ce problème du plan incliné ; aussi, en toutes circonstances, ce qu'il introduit dans ses calculs, ce n'est pas la vitesse même du poids mis en branle, mais la projection de cette vitesse sur la verticale.

Les mécaniciens de l'École Jésuite, le P. Zucchi et le P. Honoré Fabri, comme le P. De Challes et le P. Casati, ont assurément bien connu l'œuvre de Descartes ; néanmoins, ils n'ont pas adopté la méthode par laquelle ce grand philosophe voulait que la Statique fût traitée. Qu'ils se soient refusés à suivre cette méthode, on le comprend sans peine ; son objet propre, en effet, était de rompre tout lien entre la Statique enfin constituée et la loi essentielle de la Dynamique péripatéticienne ; l'intention formelle des géomètres Jésuites, au contraire, était de souder intimement la moderne Science de l'équilibre aux principes de la Mécanique d'Aristote ; comment ne se fussent-ils point ralliés à la méthode de Galilée qui, si directement, découlait des axiomes postulés aux *Physiques*, au *De Cœlo*, aux *Questions mécaniques* ? qui cependant, dans la pratique, donnait exactement les mêmes corollaires que la méthode Cartésienne, et par les mêmes calculs ?

S'ils ont donc méconnu la notion de *travail*, dont la

nature et l'importance avaient apparu de plus en plus clairement depuis Jordanus jusqu'à Descartes, du moins ont-ils conservé en sa plénitude le procédé des vitesses virtuelles, issu de la Physique d'Aristote et transformé par Galilée, sous l'influence des découvertes dues à l'École de Jordanus. L'École Jésuite de Mécanique sauvegardait ainsi une bonne part des idées fécondes qu'avait engendrées l'antique Science *De ponderibus*.

5. *La réaction contre les méthodes des vitesses virtuelles et des travaux virtuels : Jacques Rohault* (1620-1675) — *Le P. Pardies* (1636-1673) — *Les* TRAITEZ *du P. Lamy* — *Le* DE MOTU ANIMALIUM *de Borelli*

Ces vérités anciennes, nous allons les voir grossièrement méconnues, brutalement chassées du domaine de la Statique. Déjà, au XVIe siècle, nous avions vu Guido-Ubaldo, Benedetti et Stevin mener une violente réaction contre les idées fécondes que contenaient en germe les enseignements de l'École de Jordanus. Cette même réaction, nous la retrouvons à la fin du XVIIe siècle, aussi radicale en ses exclusions qu'au XVIe siècle, mais bien moins justifiée, car l'École de Jordanus s'appelle maintenant l'École de Descartes et de Wallis.

Dans cette exclusion de toute démonstration qui invoquât la méthode des déplacements virtuels, de toute comparaison entre le travail de la puissance et le travail de la résistance, nul ne fut plus absolu que Jacques Rohault ; il faudrait remonter à Benedetti pour trouver un auteur qui eût passé aussi exactement sous silence toute considération de cette nature.

Élève et ami de Cyrano de Bergerac, qu'il détacha du système de Gassendi pour l'amener à la Cosmologie cartésienne, Rohault avait trouvé dans les papiers de Cyrano

le plan (1) de divers chapitres d'un traité de Physique ; il composa et publia le traité complet (2) qui eut grande vogue, et demeura classique jusqu'au milieu du XVIII[e] siècle.

De son vivant, Rohault ne publia rien qui eût rapport à la Statique ; mais il en traita dans ses cours ; et ses cours, d'une diction claire et élégante, accompagnés de démonstrations expérimentales habiles, étaient très fréquentés. « Les conférences publiques qu'il faisoit (3) une fois toutes les semaines, où se trouvoient des personnes de toutes sortes de qualitez et conditions, prélats, abbez, courtisans, docteurs, médecins, philosophes, géomètres, régens, escoliers, provinciaux, estrangers, artisans, en un mot des personnes de tout âge, de tout sexe, et de toute profession, et où il prononçoit presque autant d'oracles, qu'il faisoit de réponses aux difficultez qui lui estaient proposées par toutes sortes de personnes, l'avaient mis dans une si grande réputation, qu'il s'en est trouvé plusieurs, les uns par curiosité, pour se donner la satisfaction de l'entendre, les autres par jalousie, pour juger de sa doctrine et tâcher de la combattre, qui ont quitté leur païs, et entrepris de grands voyages. »

Par ces conférences, la méthode selon laquelle Rohault exposait la Statique fut bientôt connue ; et l'on en peut noter l'influence en des écrits qui parurent plusieurs années avant qu'elle ne fût elle-même imprimée.

Nous la possédons aujourd'hui dans les *Œuvres post-*

(1) Sous forme de deux fragments que l'on trouvera dans : Cyrano de Bergerac, *Histoire comique des états et empires de la lune et du soleil ou Voyage dans la lune.* Nouvelle édition par P. L. Jacob, Bibliophile. Paris, 1858. Ces deux fragments furent publiés pour la première fois, en 1662, dans les *Nouvelles œuvres* de Cyrano. Rohault était certainement l'auteur de cette publication et de la préface qui y fut mise.

(2) *Traité de Physique*, par Jacques Rohault. A Paris, chez la veuve de Charles Savreux, libraire juré, au pied de la Tour de Notre-Dame, à l'Enseigne des Trois Vertus. MDCLXXI.

(3) Préface mise par Clerselier aux *Œuvres posthumes* de son gendre Jacques Rohault.

humes de Rohault, que son beau-père Clerselier donna (1) en 1682.

Nous l'avons dit, on y chercherait en vain une allusion à la méthode des déplacements virtuels, qu'on la prît, d'ailleurs, sous la forme qui s'est modifiée d'Aristote à Galilée ou sous la forme qui s'est développée de Jordanus à Descartes et à Wallis. On n'y trouverait, non plus, aucune mention du principe du centre de gravité, si précisément formulé par Torricelli et par Pascal, ni du postulat de l'impossibilité du mouvement perpétuel, si habilement employé par Stevin. La loi du levier, établie par le procédé que Stevin et Galilée tenaient sans doute du Moyen Age, sinon de l'Antiquité, telle est la source unique dont découlent toutes les lois des « Méchaniques ». L'ordre de l'exposition, la sévérité et la clarté des déductions dissimulent mal l'aridité du fond, d'où l'on a arraché tout ce qui portait des semences fécondes.

Et cependant, l'auteur qui rejetait en un si complet oubli les pensées de Descartes touchant les « Méchaniques » était, en Physique, un fervent Cartésien. C'est lui qui écrivait, en la Préface de son *Traité de Physique :* « Celui qui a le plus contribué à la composition de cet Ouvrage, duquel cependant le nom ne se trouvera nulle part, parce qu'il l'eût fallu trop souvent répéter, est le célèbre M. Descartes, dont le mérite se faisant de plus en plus reconnoître chez plusieurs des principaux États, fera avouer à tout le monde, que la France est du moins aussi heureuse à produire et élever de grands hommes dans toutes sortes de professions, que l'a été l'ancienne Grèce. »

Il y a plus. En ce *Traité de Physique*, Jacques Rohault définissait (2) la notion de quantité de mouvement et

(1) *Œuvres posthumes* de M. Rohault. A Paris, chez Guillaume Desprez, ruë St-Jacques, à S. Prosper, et aux Trois Vertus, au dessus des Mathurins. MDCLXXXII. — Traité des Méchaniques, pp. 479-594.

(2) Rohault, *Traité de physique*. Première partie, Chapitre X : Du mouvement et du repos.

montrait comment l'égalité des quantités de mouvement entraînait l'équilibre entre la puissance et la résistance, presque exactement dans les termes que De Challes allait adopter quelques années plus tard :

« Le mouvement a toûjours été reconnu comme une espèce de quantité, laquelle d'une part s'estime par la longueur de la ligne que le mobile parcourt... D'autre part, elle s'estime par le plus ou moins de matière qui se meut tout à la fois... Et de là il suit manifestement, qu'afin que deux corps inégaux ayent des quantités égales de mouvement, il faut que les lignes qu'ils parcourent soient entre elles en raison réciproque de leurs masses, comme si un corps est triple d'un autre, il faut que la ligne qu'il parcourt ne soit que le tiers de celle de l'autre.

» Quand deux corps appliquez aux extrémités d'une balance, ou d'un levier, sont entre eux en raison réciproque de leurs distances au point fixe, c'est une nécessité qu'en se mouvant ils décrivent des lignes qui soient entre elles en raison réciproque de leur masse.... Ainsi nous devons juger qu'ils seront dans un parfait équilibre. Ce qui doit servir de fondement à la Mécanique. »

Pourquoi Rohault, lorsqu'il écrivit son *Traité des Méchaniques*, prit-il un fondement tout autre, et n'accorda-t-il plus même une mention à celui-là ? Nous ne saurions le dire. Toujours est-il que son traité se trouva, par là, conforme à la mode du temps.

Les Cartésiens les plus fervents, comme Rohault, en étaient venus à passer sous silence le principe sur lequel Descartes voulait que fût fondée toute la Statique ; les adversaires du grand philosophe allaient plus loin ; ils combattaient ouvertement ce principe et les autres principes analogues.

Le P. Ignace Gaston Pardies, de la Compagnie de Jésus, était un ardent adversaire de Descartes. En son *Discours de la Connaissance des Bêtes* (1), publié à Paris,

(1) Ce discours, comme les autres écrits du P. Pardies dont nous aurons

chez Mabre-Cramoisy, en 1672, il combattait l'automatisme que le grand philosophe attribuait aux animaux ; en son *Discours du mouvement local*, donné par le même éditeur d'abord en 1670, puis en 1673, il niait les principes de la Dynamique cartésienne. Nous le voyons donc sans étonnement rejeter les fondements sur lesquels Descartes prétendait édifier la Statique.

La *Statique* (1) du P. Pardies est un livre fort peu original, bien qu'il semble avoir eu quelque vogue. Le début en est presque textuellement emprunté à Villalpand. La loi du levier, pompeusement annoncée par ces mots : « Voicy maintenant la plus importante proposition de la Statique », est établie par la démonstration qu'ont adoptée Stevin et Galilée, que Rohault et De Challes ont reproduite ; Pardies, d'ailleurs, s'exprime (2) à l'endroit de ce raisonnement comme s'il s'agissait d'une nouvelle invention : « Ceux qui ont connaissance de ce que disent sur ce sujet les interprètes ou les commentateurs d'Archimède pourront remarquer que, dans la démonstration que je viens de faire, on évite toutes les difficultez auxquelles est sujette la démonstration ordinaire. »

L'équilibre du levier coudé est traité (3) sous une forme qui rappelle les raisonnements de Benedetti ; d'ailleurs, au levier droit ou coudé se ramènent toutes les machines simples, telles que les poulies, le plan incliné, les assemblages de deux cordes qui soutiennent un poids ; les

à parler, est réimprimé dans les *Œuvres* du R. P. Ignace-Gaston Pardies, de la Compagnie de Jésus, contenant : 1. *Les élémens de Géométrie* ; 2. *Un discours du mouvement local* ; 3. *La Statique, ou la science des forces mouvantes* ; 4. *Deux machines propres à faire les quadrans* ; 5. *Un discours de la connaissence des bêtes*. Augmenté dans cette nouvelle édition d'une table pour l'intelligence des Élémens de Géométrie, selon Euclide. A Lyon, chez les Frères Bruyset, ruë Mercière, au Soleil. MDCCXXV.

(1) *La Statique ou la Science des forces mouvantes*, par le P. Ignace-Gaston Pardies, de la Compagnie de Jésus. Paris, chez Sebast. Marbre-Cramoisy, Imprimeur du Roy, ruë St Jacques, aux Cicognes. MDCLXXIII. Seconde édition, MDCLXXIV.

(2) Id., *ibid.*, p. 40.

(3) Id., *ibid.*, p. 42.

tensions de ces cordes sont déterminées (1) par l'artifice même qu'ont employé De Challes et Casati.

Incidemment, le P. Pardies écrit (2) : « Dans toutes ces forces mouvantes, on peut remarquer que le mouvement perpendiculaire que font les poids en même temps pour monter ou pour descendre est toujours réciproquement proportionnel aux mêmes poids ». A l'appui de cette proposition, il cite l'exemple du levier et reproduit la figure que De Challes avait presque exactement copiée dans le traité de Jordanus de Nemore.

Mais de cette proposition, le P. Pardies se garde bien de faire le fondement qui doit porter la Statique ; il veut que la Statique repose sur de tout autres principes et que cette proposition soit réduite au rôle de corollaire : « Aussi, dit-il (3), quelques-uns en ont fait un principe pour démontrer la raison de toutes les forces mouvantes; et il semble bien évident qu'il ne faut ny plus ny moins de force pour porter un poids de cent livres à un pied de haut que pour en porter un d'une livre à cent pieds de haut : de sorte qu'un poids d'une livre descendant de la hauteur de cent pieds contreballancera à un poids de cent livres dans la hauteur d'un pied. Ce principe a quelque chose qui ne satisfait pas si parfaitement l'esprit, qu'il suffise pour faire des démonstrations. Il est néanmoins très véritable, et après les démonstrations que je viens de faire touchant les Forces Mouvantes, on peut le mettre hardiment comme indubitable. »

Si le P. Pardies se refuse à suivre Descartes et à faire de la proposition de Jordanus le postulat essentiel de la Statique, il n'en a pas moins exactement saisi les liens de cette proposition avec l'impossibilité du mouvement perpétuel. Ce qu'il dit (4) pour montrer que « le mouvement

(1) Pardies, *loc. cit.*, pp. 110 et seqq.
(2) Id., *ibid.*, p. 99.
(3) Id., *ibid.*, p. 101.
(4) Id., *ibid.*, p. 102.

perpétuel par méchanique est impossible » n'est évidemment qu'un commentaire, d'ailleurs clair et exact, de ce que Cardan avait écrit dans le *De subtilitate* : « D'où l'on peut faire voir que ceux-là perdent leur temps, qui cherchent le moyen de faire le mouvement perpétuel par la Statique. Pour cela, il faudroit nécessairement que de certains corps descendissent, et que d'autres montassent, en sorte que les mêmes qui sont une fois montez, soient aussi ceux qui descendent après, pour perpétuer ainsi le mouvement, par une succession et une circulation continuelle. Mais il est manifeste que dans ces rencontres, tout ce qui descend, doit monter. Si ce qui doit monter est égal à ce qui doit descendre en même temps, il n'est pas possible que le mouvement se fasse de luy-même, puisqu'un poids égal ne peut pas de cette sorte en surmonter un autre égal. Si ce qui descend est plus grand que ce qui monte en même temps, il faut nécessairement que la vîtesse de ce qui descend soit à proportion plus petite, en sorte que comme le poids qui descend est à celuy qui monte, ainsi soit la vîtesse de celuy qui monte à la vîtesse de celuy qui descend ; autrement, la succession ne pourroit pas être perpétuelle, et il monteroit plus de corps qu'il n'en descendroit, ou au contraire, il en descendroit plus qu'il n'en monteroit ; et ainsi la machine seroit bientost épuisée. Que si la vîtesse de ce qui descend est à la vîtesse de ce qui monte en raison réciproque des poids des corps, il y aura équilibre et rien ne bougera. »

La Statique (1) du P. Lamy, prêtre de l'Oratoire, n'est

(1) *Traitez de Méchanique, de l'équilibre des solides et des liqueurs*, où l'on découvre les causes des effets de toutes les machines dont on mesure les forces d'une manière particulière ; on y en propose aussi quelques nouvelles. Par le P. Lamy, prestre de l'Oratoire. A Paris, chez André Pralard, ruë Saint Jacques, à l'Occasion. MDCLXXIX. — *Traitez de Méchanique, de l'équilibre des solides et des liqueurs*. Nouvelle édition. Où l'on ajoûte une nouvelle manière de démontrer les principaux théorèmes de cette science. Par le P. Lamy, prêtre de l'Oratoire. A Paris, chez André Pralard, ruë S. Jacques, à l'Occasion. MDCLXXXVII. Cette seconde édition n'est en réalité que la première, dont on a changé le faux titre et à laquelle

guère originale ; comme celle du P. Pardies, et peut-être plus qu'elle, elle rappelle le *Traité* de De Challes ; comme elle, elle débute par les théorèmes de Villalpand ; comme elle, elle donne de la loi du levier la démonstration qu'ont adoptée Stevin et Archimède.

Mais le P. Lamy va encore plus loin que le P. Pardies dans la voie critique où celui-ci s'est engagé. Ni le postulat d'Aristote et de Galilée, ni le postulat de Descartes ne semblent au pointilleux Oratorien propres à fonder une Statique ; ce sont des corollaires des lois de l'équilibre ; ce n'en sont point les raisons d'être.

« Ce qu'on gagne en force dans un levier, dit-il (1), on le perd en espace de temps et de lieu. » Cette remarque, il la justifie selon le très vieux procédé d'Aristote, en considérant la longueur même du chemin décrit par chacun des poids et non point la projection de ce chemin sur la verticale. Il ajoute (2) alors : « Il ne faut point chercher d'autre cause d'équilibre de deux corps de pesanteur différente qui sont suspendus à une verge que celle que nous avons proposée ; car il est manifeste, selon que nous l'avons prouvé, que cela arrive parce que la verge est poussée également des deux côtés de l'appuy ; cependant, plusieurs ont assigné une autre cause de cet équilibre, sçavoir cette loy de nature que nous venons de démontrer dans la Proposition précédente...

» Plusieurs raisons m'ont empêché d'embrasser ce sentiment. Premièrement en considérant deux corps en équilibre, je ne conçois pas comment un mouvement qu'ils n'ont point, et qu'ils ne peuvent avoir qu'en sortant de leur repos, peut être la cause de ce même repos...

» Il y a des machines dans lesquelles cette loy de nature

on a joint une addition dont il sera question en l'article suivant. — Une troisième édition porte le titre de la première, suivi de ces mots : Revus et corrigez par le R. P. Bernard Lamy, Prêtre de l'Oratoire. A Paris, chez Denys Mariette, rue Saint Jacques, à Saint Augustin. MDCCI.

(1) Lamy, *loc. cit.*, p. 74.

(2) Id., *ibid.*, p. 76.

que ce que l'on gagne en force, on le perd en temps, est gardée, et cependant nous démontrons géométriquement que la force de ces machines a une autre cause que cette loy ; ce n'est donc pas une bonne conséquence qu'elle soit la cause de la force du levier, de ce qu'elle se trouve dans ses effets...

» Il n'est pas nécessaire que je fasse remarquer (1) que cette loy par laquelle on perd en espace de lieu et de temps ce que l'on gagne en force, n'est pas la cause de la force des poulies, mais une suite de leur composition. Ce sont des leviers, comme nous avons veu... Aussi il ne faut point chercher d'autre cause de l'effet de ces machines. »

L'axiome si souvent invoqué depuis Aristote et Galilée ne mérite donc point, selon le P. Lamy, de garder ce rang logique élevé ; il doit descendre à l'humble rang de corollaire.

L'axiome de Jordanus et de Descartes n'est pas mieux accueilli (2) par notre auteur : « Monsieur Descartes propose le principe suivant, qu'il prétend être la cause de cet équilibre du levier. C'est la même chose, dit-il, de lever un fardeau pesant 100 livres à la hauteur de 10 pieds que d'en élever un de 10 livres à la hauteur de 100 pieds... Il y a ici, ce me semble, un paralogisme, car ce principe ne peut être vrai que lorsque l'on peut lever séparément les parties d'un fardeau. Par exemple, il ne faut pas plus de force pour porter 10 pierres séparément à un pied de hauteur, que pour porter une de ces pierres à 10 pieds de hauteur ; et si je puis porter une pierre à ces 10 pieds, je pourray assurément lever toutes ces pierres à la hauteur d'un pied ; mais comme il est évident, cela ne peut se faire si je ne les prens les unes après les autres : car quoique je puisse lever un fardeau d'une livre à la hauteur de 1000 pieds, je ne puis pas lever un poids de 1000 livres à la hauteur de la millième partie d'un pied. »

(1) Lamy, *loc. cit.*, p. 117.
(2) Id., *ibid.*, p. 79.

Contre l'axiome d'Aristote, le P. Lamy reprend les objections de Stevin, objections qui tombent d'elles-mêmes si l'on remarque que la méthode des vitesses virtuelles est un procédé de démonstration *per absurdum*. A l'axiome de Descartes, il adresse des critiques que Mersenne avait formulées avant lui ; la confusion entre la force et le travail, confusion engendrée par une terminologie défectueuse, en fait tout le fond.

L'axiome de Stevin, tiré de l'impossibilité du mouvement perpétuel, ne trouvera pas grâce, lui non plus, devant la sévère critique du pointilleux oratorien.

C'est au cours de la théorie du plan incliné qu'il trouve occasion d'attaquer cet axiome.

Ce qui préoccupe avant tout Lamy, en cette théorie du plan incliné, c'est de connaître la fraction de la pesanteur totale du corps que porte le plan ; car (1) « un corps pesant ne communique qu'une partie de sa pesanteur au plan sur lequel il est posé quand ce plan est incliné ». Cette partie est ce que nous nommons aujourd'hui la composante du poids suivant la normale au plan. L'excès *arithmétique* (2) du poids entier sur cette composante est, selon l'expression de Lamy, ce qui *porte en l'air* ; il semble bien que Lamy subisse ici une fâcheuse influence du P. Casati.

D'ailleurs, pour évaluer cette partie de la pesanteur que porte le plan incliné, Lamy use de bien étranges démonstrations, visiblement imitées de Léonard de Vinci et de Bernardino Baldi. Il suppose que le corps porté par le plan incliné ait la forme d'une sphère (fig. 107) et il déclare (3) que « le plan incliné ne porte pas toute la pesanteur de X, mais... qu'il porte seulement celle que ressentiroit celuy qui soûtiendroit le levier LG au point E ; ainsi le reste porte en l'air ».

(1) Lamy, *loc. cit.*, p. 121.
(2) Id., *ibid.*, p. 125.
(3) Id., *ibid.*, p. 121.

Ce raisonnement fournit à Lamy ce théorème faux (1) : « Un corps estant posé sur un plan incliné, la partie de la pesanteur de ce poids qui porte sur ce plan est à celle qui n'y porte pas comme la longueur du plan est à sa hauteur. »

Bien qu'usant toujours de raisonnements aussi étranges, Lamy est plus heureux en cette autre proposition (2) : « Lorsqu'on tire une sphère le long d'un plan par une ligne parallèle à ce plan, ce qui porte de cette sphère sur le plan est à ce qui ne porte pas comme l'inclination du plan est à sa hauteur. » Dans cet énoncé, *ce que le plan*

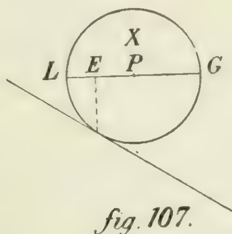


fig. 107.

ne porte pas signifie la composante du poids du corps parallèlement au plan incliné.

Ce théorème conduit notre auteur à cet autre (3) qui, lui aussi, est exact : « Deux corps pesans estant sur deux plans de mesme hauteur, si ce que porte l'un des deux plans est à ce que porte l'autre comme l'inclination de l'un à celle de l'autre, ces deux corps seront en équilibre. »

Entre cette proposition et la théorie du plan incliné telle que l'a formulée Stevin, il y a parfait accord ; mû peut-être par le besoin de critiquer le grand géomètre de Bruges, Lamy altère son propre théorème pour trouver un désaccord avec la doctrine classique du plan incliné : « L'on croit communément, dit-il (4), que lorsque les

(1) Lamy, *loc. cit.*, p. 122.
(2) Id., *ibid.*, p. 131.
(3) Id., *ibid.*, p. 135.
(4) Id., *ibid.*, p. 137.

poids entiers de deux corps pesans qui sont sur deux plans disposez comme on le voit dans la figure de la proposition précédente, sont l'un à l'autre, comme les plans sur lesquels ils sont, ils doivent estre en équilibre, cela n'est pas comme nous venons de le voir. Il ne faut pas que ce soient les poids entiers qui soient l'un à l'autre comme ces plans, mais la partie de ces poids qui portent sur ces plans.

» J'ay veu dans un Autheur cette démonstration prétenduë du sentiment que je rejette... » Après avoir

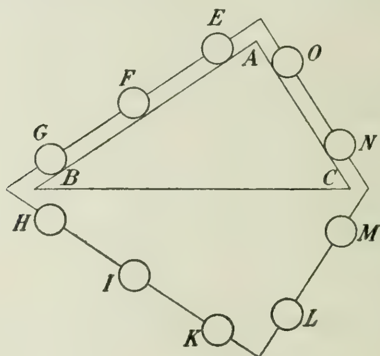


fig. 108.

rapporté la démonstration de Stevin, Lamy ajoute (1) : « Mais comme la démonstration suppose l'impossibilité du mouvement perpétuel, qui n'a point encore esté démonstrée, elle n'est pas bonne. Outre cela, il n'a pas remarqué que les sphères E, F, G (fig. 108) ne peuvent tomber, et faire monter les sphères O, N, à cause qu'elles pendent plus du côté du plan AC que du côté du plan AB... »

La critique n'est pas fondée ; le collier de perles dessine une chaînette parfaitement symétrique qui pend également du côté AB et du côté AC ; mais, il faut l'avouer, Stevin, si prodigue de précautions inutiles en ses longues

(1) Lamy, *loc. cit.*, p. 139.

démonstrations, aurait été sagement inspiré en l'affirmant explicitement et en appuyant son affirmation de quelques raisons.

La *Statique* du P. Pardies, le *Traité de Méchanique* du P. Lamy sont des œuvres fort médiocres ; ces deux écrits, comme ceux de Rohault et de De Challes, nous montrent en quel état de décadence se trouvait, au voisinage de l'an 1680, la Science de l'équilibre. La même impression se dégage encore d'un autre écrit (1), composé à la même époque, bien que cet écrit ait pour auteur l'illustre Borelli et que ses nombreuses éditions attestent la vogue dont il a joui.

L'étude des efforts faits par les muscles qui déterminent les mouvements des animaux exige que Borelli détermine les tensions des cordes qui arrêtent une résistance. Un chapitre entier (2) est consacré à ces lemmes sur la composition des forces ; les procédés par lesquels la démonstration de ces propositions est ramenée aux propriétés du levier n'ont rien de naturel ; ce sont d'ingénieux artifices dont l'emploi entraîne malaisément la conviction.

Les résultats obtenus sont naturellement ceux que l'on connaissait depuis Stevin. Borelli, cependant, juge bon de critiquer les démonstrations de Stevin et d'Herigone (3), qu'il nomme, ainsi que le raisonnement d'un certain « insignis Geometra neotericus » qu'il ne nomme pas, mais dont l'artifice est celui-là même qu'ont employé De Challes, Casati et Pardies. Il va plus loin ; il croit découvrir une

(1) Johannis Alphonsi Borelli, Neapolitani Matheseos professoris, *De motu animalium*. Pars Prima. Romæ, MDCLXXX. Pars secunda. Romæ, MDCLXXXI. — Editio altera. Lugduni in Batavis, MDCLXXXV. — En 1710, parut à Leyde une édition à laquelle était jointe une dissertation : *De motu musculorum*, due à Jean Bernoulli. Ainsi complétée, l'œuvre de Borelli fut réimprimée plusieurs fois, notamment à Naples en 1734. La dernière édition en fut donnée à La Haye en 1743.

(2) Id., *ibid*. Pars prima, Cap. XIII : Lemmata pro musculis quorum fibræ non sunt parallelæ et oblique trahunt.

(3) Id., *ibid*. Pars prima, Cap. XIII : Digressio (à la suite de la Propositio LXIX).

erreur dans les énoncés de Stevin et d'Herigone. Il admet avec eux que deux forces obliques et concourantes, exercées par deux cordes, tiendront un poids en équilibre si chacune des tensions est à ce poids comme le côté du parallélogramme des forces est à la diagonale de ce quadrilatère ; mais il prétend que la réciproque de ce théorème n'est point exacte. Varignon (1) n'aura point de peine à lui prouver, et cela par ses propres lemmes, qu'il erre pleinement.

D'ailleurs, Borelli s'interdit toute allusion aux principes généraux de la Statique, aussi bien au principe des vitesses virtuelles, sans cesse repris d'Aristote à Galilée, qu'au principe des déplacements virtuels, constamment accru et précisé, de Jordanus à Descartes et à Wallis. Pour lui, comme pour Rohault, pour Pardies et pour Lamy, la loi du levier est « la plus importante proposition de la Statique » ; toutes les autres s'y ramènent. L'étroitesse d'esprit de ces auteurs va rejoindre celle de Guido Ubaldo.

Il est clair, en effet, que la plupart des géomètres n'ont, vers l'an 1680, qu'une fort médiocre connaissance de la Statique ; non seulement les principes larges et féconds auxquels cette science doit ses plus belles découvertes sont méconnus, relégués au rang de corollaires, passés sous silence, voire réputés faux, mais encore certains des théorèmes les plus certains sont contestés ou demeurent incompris ; de ce nombre est la loi de la composition des forces concourantes. Voici cependant que cette loi va cesser de paraître l'un des nombreux théorèmes de la Statique ; qu'elle va se donner comme la proposition fondamentale d'où découle toute cette science, comme le seul principe où le géomètre découvre avec pleine clarté et entière certitude la raison des équilibres les plus divers.

(1) Varignon, *Projet d'une nouvelle Mechanique. Avec un Examen de l'opinion de M. Borelli sur les proprietez des Poids suspendus par des Cordes*. A Paris chez la Veuve d'Edme Martin, Jean Boudot, et Estienne Martin, ruë S. Jacques, au Soleil d'Or. MDCLXXXVII.

6. *Le parallélogramme des forces et la Dynamique* *Les* Observations *de Roberval* *Pierre Varignon* (1654-1722) — *La* Lettre *du P. Lamy* *Les* Principes *de Newton* — *La* Néo-Statique *du P. Saccheri*

En dépit des critiques, bien mal justifiées, de Borelli, la loi de la composition des forces apparaîtra bientôt aux mécaniciens comme le principe qui doit servir à débrouiller toutes les questions de Statique. Dès lors, il y va de l'honneur de ce principe qu'il soit rendu indépendant de toute autre loi relative à l'équilibre, qu'il soit séparé des considérations sur le levier ou sur le plan incliné dont il découlait jusqu'ici ; il faut qu'on y parvienne d'emblée, à partir des lois premières du mouvement.

Cette justification directe par les principes de la Dynamique, la règle de la composition des forces va la trouver tout d'abord en remontant à ses toutes premières origines, aux raisonnements des Μηχανικὰ προβλήματα.

Aristote ou l'auteur, quel qu'il soit, des *Quæstiones mechanicæ* connaissait fort bien la règle de composition des vitesses. Or, pour lui, nous l'avons dit (1), connaître la loi de la composition des vitesses, c'était connaître la loi de la composition des forces, car, en vertu de l'axiome fondamental de la Dynamique péripatéticienne, une force constante produit un mouvement uniforme et la vitesse de ce mouvement est proportionnelle à la force qui l'engendre. On peut donc dire, si l'on veut, que la loi de la composition des forces a été connue dès l'antiquité. Si les auteurs modernes, si Léonard de Vinci, Stevin et Roberval se sont efforcés à la démonstration de cette loi, c'est

(1) V. Chapitre VI, n° 2.

qu'ils voulaient des preuves purement statiques, des preuves qui ne supposassent pas la proportionnalité entre la force qui meut et la vitesse du mobile ; la raison de ces efforts apparaissait très clairement à Stevin, qui regardait la Dynamique péripatéticienne comme condamnée et ne savait encore quelle Dynamique prendrait sa place.

Comme Stevin, Descartes pensait, nous l'avons vu, que l'ancienne Dynamique était à refaire, que la Dynamique nouvelle n'était pas encore faite ; il importait, par conséquent, de fonder la science de l'équilibre, au moins provisoirement, sur des postulats autonomes, sur des axiomes dont la certitude ne dépendît pas de la forme qui serait attribuée aux lois du mouvement.

A l'égard du principe péripatéticien qui affirme la proportionnalité entre la force et la vitesse, Roberval, lui aussi, éprouvait quelques doutes ; témoin ce passage que nous lisons dans son *Traicté de Méchanique* inédit (1) :

« Et quoyque la force ou impression augmente, et en conséquence la vistesse, il ne faut pas croire pourtant que cette vistesse augmente à proportion. Pour exemple, il ne faut pas croire qu'une double force ou impression cause à un mesme corps, une double vistesse, encore que toutes les autres conditions soient pareilles. Au contraire, pour causer une double vistesse, il faudroit souvent plus que le double de l'impression, sans pourtant qu'on sçache l'augmentation de l'une à proportion de l'autre, qui est une vérité fort difficile à découvrir. »

Le scrupule dont témoigne ce passage est malheureusement isolé dans l'œuvre de notre géomètre ; partout ailleurs, Roberval raisonne en péripatéticien.

Cet auteur, nous l'avons vu (2), est le premier qui ait

(1) *Traicté de Méchanique et spécialement de la conduitte et élevation des eaux*, par Monsieur de Roberval (Bibliothèque nationale, fonds latin, Ms. n° 7226, fol. 145, recto).

(2) V. chapitre XIII, 2 ; t. I, p. 311.

publié des démonstrations statiques correctes de la règle de composition des forces ; il en a donné deux, dont la seconde, tirée de l'axiome que Descartes devait formuler d'une manière générale, est fort belle. Néanmoins, pour avoir adopté l'idée que la loi du parallélogramme des forces devait être justifiée par des méthodes purement statiques et avoir assuré le succès de cette idée, il n'a pas jugé qu'il fût tenu d'abandonner l'antique manière de voir d'Aristote.

En mourant (1675), Roberval laissa, en manuscrit, ses *Observations sur la composition des mouvemens, et sur le moyen de trouver les touchantes des lignes courbes* (1), qui sont un de ses grands titres à la gloire géométrique. La Mécanique n'apparait que d'une manière fort accessoire en cet ouvrage, mais elle y apparait sous une forme nettement péripatéticienne.

« Puissance, dit Roberval (2), est une force mouvante ; Impression est l'action de cette puissance ; la Ligne de direction de la puissance est celle par laquelle la puissance meut le mobile... Nous avons encore défini la puissance en tant qu'elle nous peut servir considérant les diversités des mouvemens, ce qui n'empêche pas que dans d'autres spéculations, nous n'entendions par le mot de puissance une force capable de soutenir un poids ou de quelque autre effet. »

D'ailleurs, un peu plus loin (3), Roberval considère « dans les corps deux sortes d'impressions qui les peuvent

(1) *Divers ouvrages* de M. Personier *(sic)* de Roberval. *Observations sur la Composition des Mouvemens et sur le moyen de trouver les Touchantes des lignes courbes.* Imprimé une première fois dans le recueil intitulé : DIVERS OUVRAGES DE MATHÉMATIQUES ET DE PHYSIQUE PAR MESSIEURS DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES, à Paris, MDCXCIII, et réimprimé dans les MÉMOIRES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES depuis 1666 jusqu'à 1699 ; Tome VI, MDCCXXX ; p. 1.

(2) Roberval, *loc. cit.*, p. 2.

(3) Id., *ibid.*, p. 9.

faire mouvoir ; l'une qui les chasse d'un lieu vers un autre avec violence : telle est celle que la raquette donne à la bale, la corde d'un arc à la flèche, etc. L'autre qui se fait par attraction des corps, soit que cette attraction soit réciproque ou non... »

Il n'est donc point douteux que, parmi les *puissances* dont il considère l'*impression*, Roberval ne range le poids, la « vertu de l'aiman » (1), et les autres forces.

« Généralement (2), en ce Traité, nous considérerons deux choses dans les mouvements, leur direction et leur vitesse. »

Que la direction du mouvement coïncide avec la *ligne de direction* de la puissance qui le produit, c'est ce qui résulte de la définition même que notre géomètre a donnée des mots : *ligne de direction* ; c'est ce qui résulte encore sans ambiguïté possible de propositions telles que celle-ci :

« La direction (3) d'une puissance mouvant un mobile, lequel par son mouvement décrit une circonférence de cercle, est la ligne perpendiculaire de l'extrémité du diamètre, au bout duquel le mobile se trouve. »

Cette proposition est trop exactement conforme à la Dynamique péripatéticienne pour ne nous point annoncer que Roberval accepte l'axiome même sur lequel repose cette Dynamique, la proportionnalité entre l'*impression* d'une *puissance* et la vitesse du mouvement uniforme qu'elle engendre. En dépit du doute émis en son *Traicté de Méchanique*, cet axiome semble si évident au professeur du Collège de France qu'il ne songe, nulle part, à en demander l'acceptation ; mais il l'invoque de la manière la plus claire, et cela précisément pour identifier le problème de la composition des forces avec le problème de la composition des mouvements ou des vitesses :

(1) Roberval, *loc. cit.*, p. 10.
(2) Id., *ibid.*, p. 2.
(3) Id., *ibid.*, p. 3.

« Or nous entendons (1) qu'un mouvement est composé de plusieurs mouvemens, lors que le mobile duquel il est le mouvement, est meû par diverses impressions... »

« Mais nous remarquerons (2) qu'en cette première composition de mouvemens (deux mouvements uniformes de directions fixes) et généralement en toutes les autres, nous pouvons considérer six choses. Sçavoir trois directions qui sont les deux simples, et la composée, et trois impressions qui sont les deux simples et la composée. »

« Or si les trois directions nous sont données, les trois impressions sont aussi données, *c'est à dire les proportions des vitesses des trois mouvemens.* »

Ainsi donc, dans ses *Observations sur la composition des mouvemens,* Roberval ramène la règle de la composition des forces à la Dynamique, mais à la Dynamique péripatéticienne ; son écrit se soude de la manière la plus naturelle aux *Quæstiones mechanicæ* et aux *Causes* de Charistion.

Aux *Observations sur la composition des mouvemens* est annexé (3) le *Projet d'un livre de Mécanique traitant des mouvemens composez ;* ce livre, dont deux feuillets nous font connaître seulement l'avant-propos, eût, assurément, été rédigé dans le même esprit péripatéticien que les *Observations.*

Les *Observations* de Roberval furent imprimées seulement en 1693, longtemps après la mort de l'auteur ; mais la doctrine sur les mouvements composés qui s'y trouvait renfermée, la méthode pour « tirer les touchantes aux lignes courbes » qui s'en déduisait, furent assurément connues beaucoup plus tôt, soit par tradition orale issue de l'enseignement que Roberval donnait au Collège de France, soit par communication de manuscrits. Les pen-

(1) Roberval, *loc. cit.*, p. 4.
(2) Id., *ibid.*, p. 6.
(3) Id., *ibid.*, p. 90.

sées contenues en cet écrit semblent avoir exercé une profonde influence sur les recherches de Varignon.

« Dès que M. Varignon eut découvert (1) que les mouvemens composez expliquoient avec une grande facilité l'emploi des forces dans les Machines ; qu'ils donnoient exactement les rapports de ces forces, selon quelque direction qu'on les y supposât placées, avantage qui manquoit aux méthodes que l'on avait suivies avant lui ; il s'attacha à en faire l'application aux Machines simples ; et en 1685, dans l'*Histoire de la République des Lettres*, il donna un Mémoire sur les poulies à moufles (2), dans lequel il se servoit des mouvemens composez pour déterminer tout ce que l'on peut désirer sur cette espèce de Machine. »

En 1687, Pierre Varignon se fit connaître du public par son *Projet d'une nouvelle Méchanique* (3), dédié à l'Académie des Sciences. Il ne cessa, sa vie durant, de travailler au traité de Statique dont ce *Projet* traçait le plan ; mais ce traité (4) ne parut que trois ans après sa

(1) Avertissement à la *Nouvelle Mécanique* de Varignon.

(2) Pierre Varignon, *Démonstration générale de l'usage des poulies à moufle* (Histoire de la République des Lettres, mai 1687, p. 487). Je n'ai pu me procurer cet écrit. Je transcris ici ce qu'en dit Lagrange (*Mécanique Analytique*, Première Partie, Section I, Art. 13) : « L'auteur y considère l'équilibre d'un poids soutenu par une corde qui passe sur une poulie, et dont les deux parties ne sont pas parallèles. Il n'y fait point usage ni même mention du principe de la composition des forces, mais il emploie les théorèmes déjà connus sur les poids soutenus par des cordes, et il cite les Statiques de Pardis et de Dechales. Dans une seconde démonstration, il réduit la question au levier, en regardant la droite qui joint les deux points où la corde abandonne la poulie, comme un levier chargé du poids appliqué à la poulie, et dont les extrémités sont tirées par les deux portions de la corde que soutient la poulie. » On voit donc, comme le remarque Lagrange, que l'avertissement à la *Nouvelle Mécanique* « manque d'exactitude » en prétendant que Varignon « se servoit des mouvemens composez » dans son travail sur les poulies à moufle.

(3) *Projet d'une nouvelle méchanique* avec un examen de l'opinion de M. Borelli sur les propriétez des poids suspendus par des cordes. (Sans nom d'auteur). A Paris, chez la veuve d'Edme Martin, Jean Boudot et Estienne Martin, ruë S. Jacques, au Soleil d'or, MDCLXXXVII.

(4) *Nouvelle Mécanique ou Statique dont le projet fut donné en*

mort, imprimé par les soins de Beaufort et de l'abbé Camus.

Le *Projet d'une Nouvelle Méchanique* débute par une préface où Varignon initie le lecteur aux démarches par lesquelles son esprit a acquis une vue claire des lois de l'équilibre ; l'auteur pense sans doute, par cette confidence, nous faire admirer l'originalité de ses intuitions et la rare profondeur de ses méditations ; mais cet objet n'est qu'imparfaitement atteint ; nous reconnaissons bientôt, dans les réflexions de Varignon, une suite de pensées qu'il est fort habituel de rencontrer dans les traités de Mécanique composés peu de temps avant le sien ; en sorte que ce qui nous frappe, dans l'œuvre de ce géomètre, c'est bien moins la force et la nouveauté des pensées qu'elle contient que la clarté et la fidélité avec lesquelles elle reflète les idées de ses contemporains.

« A l'ouverture du second Tome des Lettres de Monsieur Descartes, dit Varignon (1), je tombai sur un endroit de la 24 où il est dit que *c'est une chose ridicule que de vouloir employer la raison du Levier dans la Poulie.* Cette réflexion m'en fit faire une autre : Sçavoir s'il est plus raisonnable de s'imaginer un levier dans un poids qui est sur un plan incliné que dans une poulie. Après y avoir pensé, il me sembla que ces deux machines étant pour le moins aussi simples que le levier, elles n'en devoient avoir aucune dépendance, et que ceux qui les y rapportoient, n'y étoient forcez que parce que leurs principes n'avaient pas assez d'étenduë pour en pouvoir démontrer les propriétez indépendamment les unes des autres...

MDCLXXXVII. Ouvrage posthume de M. Varignon, des Académies Royales des Sciences de France, d'Angleterre et de Prusse, Lecteur du Roy en Philosophie au Collège Royal, et Professeur de Mathématiques au Collège Mazarin. A Paris, chez Claude Jombert, ruë S. Jacques, au coin de la ruë des Mathurins, à l'Image Notre-Dame, MDCCXXV.

(1) Varignon, *Projet d'une nouvelle Méchanique*, Préface.

» C'est peut-être ce qui a porté M. Descartes et M. Wallis à prendre une autre route ; quoi qu'il en soit, ce n'a pas été sans succez : puisque celle qu'ils ont suivie, conduit également à la connaissance des usages de chacune de ces machines, sans être obligé de les faire dépendre l'une de l'autre ; outre qu'elle a mené M. Wallis beaucoup plus loin qu'aucun Autheur, que je sçache, n'eût encore été de ce côté là.

» La comparaison que je fis de ces deux sortes de principes, me fit sentir que ceux d'Archimède n'étoient ny si étendus, ny si convainquants que ceux de M. Descartes et de M. Wallis ; mais je ne sentis point que les uns ni les autres m'éclairassent beaucoup : J'en cherchai la raison, et ce défaut me parut venir de ce que les autheurs se sont tous plus attachés à prouver la nécessité de l'équilibre, qu'à montrer la manière dont il se fait.

» Ce fut ce qui me fit résoudre à prendre le parti d'épier moi-même la nature, et d'essayer si, en la suivant pas à pas, je ne pourrais point apercevoir comment elle s'y prend pour faire que deux puissances, soit égales, soit inégales, demeurent en équilibre. Enfin je m'appliquai à chercher l'équilibre lui-même dans sa source, ou pour mieux dire, dans sa génération. »

Varignon donne alors un exemple de cette méthode qui permet de découvrir la génération même de l'équilibre ; il analyse l'équilibre d'un corps sur un plan incliné ; il montre comment la tension du fil qui retient le corps et la pesanteur de cette masse ont une résultante précisément normale au plan. Il ne dit rien à cet égard qui ne se trouve déjà dans Stevin, qui n'ait été maintes fois reproduit par Mersenne, par Herigone, par Wallis, par tous ceux qui ont écrit au sujet de la Statique.

« Après avoir ainsi trouvé la manière dont l'équilibre se fait sur des plans inclinez, je cherchai par le même chemin comment des poids soutenus avec des cordes seule-

ment, ou appliquez à des poulies, ou bien à des leviers, font l'équilibre entr'eux, ou avec les puissances qui les soutiennent ; et j'aperçus de même que tout cela se faisoit encore par la voye des mouvemens composez, et avec tant d'uniformité que je ne pus m'empêcher de croire que cette voye ne fût véritablement celle que suit la nature dans le concours d'action de deux poids, ou de deux puissances, en faisant que leurs impressions particulières, quelque proportion qu'elles ayent, se confondent en une seule qui se décharge tout entière sur le point où se fait cet équilibre : De sorte que la raison Physique des effets qu'on admire le plus dans les machines me parut être justement celle des mouvemens composez...

» Des vuës si étenduës me surprirent, et l'évidence avec laquelle le détail de tout cela me paroissoit, indépendamment même du général, me confirma encore dans l'opinion où j'étois, qu'il faut entrer dans la génération de l'équilibre pour y voir en soi, et pour y reconnoître les propriétez que tous les autres principes ne prouvent, tout au plus, que par nécessité de conséquence. »

Comment Varignon est-il arrivé à cette opinion « que la raison physique des effets qu'on admire le plus dans les machines est justement celle des mouvemens composez » ? On n'en saurait douter : Il y est parvenu par la voie même que Roberval a suivie dans ses *Observations* ; il y a été conduit par les principes de la Dynamique péripatéticienne dont il ne semble avoir douté en aucun de ses écrits de Statique.

Non seulement Varignon ne révoque pas en doute l'axiome fondamental de la Dynamique d'Aristote, mais il le formule explicitement (1), il en fait l'axiome premier d'où découleront toutes ses déductions : « Les espaces, dit-il, que parcourt un même corps, ou des corps égaux

(1) Varignon, *Projet d'une nouvelle Méchanique*, p. 1, Axiome.

dans des tems égaux, sont entre-eux comme les forces qui les meuvent ; et reciproquement lorsque ces espaces sont entre-eux comme ces forces, elles les font parcourir au même corps, ou à des corps égaux en tems égaux. »

Mais peut-être objectera-t-on que la similitude entre l'axiome d'Aristote et l'axiome de Varignon est une similitude apparente ; que la proposition énoncée par Varignon s'accorderait avec la Dynamique moderne, pourvu que les corps considérés partissent du repos ; que cette restriction était sans doute présente à l'esprit de Varignon, mais qu'il a négligé de la formuler.

Si l'opinion que nous avons émise pouvait être ébranlée par ces doutes, il nous suffirait, pour la raffermir, de lire le début de la *Nouvelle Mécanique*.

Après avoir déclaré (1) que la Pesanteur est une force ; que « c'est sur cette mesure que se fait d'ordinaire l'estimation de toutes les autres forces moins connuës,... de sorte que l'on dit d'une force quelconque, qu'elle est d'une livre, de trois, etc. », Varignon formule ses axiomes ; et, dans la liste des postulats qu'il énumère, nous trouvons ceux-ci :

« I. Les effets sont toûjours proportionnels à leurs causes ou forces productrices, puisqu'elles n'en sont les causes qu'autant qu'ils en sont les effets, et seulement en raison de ce qu'elles y causent. »

. . . .

« VI. Les vîtesses d'un même corps, ou de corps de masses égales, sont comme les forces motrices qui y sont employées, c'est-à-dire, qui y causent ces vîtesses ; réciproquement lorsque les vîtesses sont en cette raison, elles sont celles d'un même corps, ou de corps de masses égales. »

« VII. Les espaces parcourus de vîtesses uniformes en tems égaux par des corps quelconques, sont entr'eux

(1) Varignon, *Nouvelle Mécanique ou Statique*, tome I, p. 3.

comme ces mêmes vîtesses ; et réciproquement lorsque ces espaces sont en cette raison, ils ont été parcourus en tems égaux. »

« VIII. Les espaces parcourus en tems égaux par un même corps, ou par des corps de masses égales, sont comme les forces qui les leur font parcourir ; et réciproquement lorsque ces espaces sont en cette raison, ils sont parcourus en tems égaux par un même corps, ou par des corps de masses égales. Cet Axiome-ci est un Corollaire des deux précédens. Ax. 6. 7. »

« Le mot *vîtesse* dans la suite y signifiera toujours *vîtesse uniforme*, à moins qu'on n'y avertisse du contraire. »

Il est impossible de formuler avec plus de netteté l'axiome dynamique constamment invoqué dans les *Physicæ auscultationes* et dans le *De Cœlo*, l'axiome supposé dans les *Quæstiones mechanicæ* ; et, certes, on ne peut sans stupeur songer que celui qui affirme cet axiome d'une manière si claire et si explicite est un mécanicien illustre, contemporain de Newton. L'erreur est vivace ; la déraciner entièrement est long et difficile ; toujours, de quelque souche que l'on croyait morte, pousse un surgeon imprévu ; de cette vitalité de l'idée fausse, les opinions que Varignon professait en Dynamique sont un saisissant exemple.

Puisque Varignon admet les principes de la Dynamique d'Aristote, la loi de la composition des forces ne saurait offrir à ses yeux aucune obscurité ; elle est ramenée à la loi de composition des vîtesses et s'obtient (1) par la méthode même qu'a suivie Roberval.

Une fois le principe de la composition des forces ainsi établi, Varignon y ramène tous les cas d'équilibre que l'on peut rencontrer dans les machines ; en tous ces cas, les forces résultantes sont annihilées par les appuis. Ce que sont les procédés de réduction employés, à quel point ils

(1) Varignon, *Projet d'une nouvelle Méchanique*, p. 6. — *Nouvelle Mécanique ou Statique*, tome I, p. 14.

sont presque toujours ingénieux, mais trop souvent artificiels, il n'est pas utile que nous le marquions en détail. Beaucoup de ces procédés, devenus classiques, sont encore en usage dans l'enseignement.

C'est seulement dans la *Nouvelle Mécanique* (1) que Varignon est parvenu au théorème célèbre que nous énonçons aujourd'hui sous cette forme : *Par rapport à un point quelconque pris dans leur plan commun, le moment de la résultante de deux forces est égal à la somme algébrique des moments des composantes.* Grâce à ce beau théorème, son nom est aujourd'hui connu du plus humble étudiant en Mécanique. Cependant, il n'eut pas grand effort à faire pour le découvrir.

Léonard de Vinci avait déjà aperçu la vérité de cette proposition dans le cas où le point auquel on rapporte les moments est pris sur la direction de l'une des trois forces ; l'un des moments est alors égal à zéro. Sous cette forme, Stevin l'avait retrouvée et publiée ; après lui, Roberval, Herigone, Wallis, De Challes, Casati, Pardies, Borelli, l'avaient tous reproduite. Une généralisation bien aisée suffisait à donner le théorème qu'expose la *Nouvelle Mécanique.* Cependant, l'écolier qui répète le nom de Varignon ignore celui de Simon Stevin.

La réduction systématique de la Statique à la règle de composition des forces concourantes ne s'offrit pas seulement à l'esprit de Varignon ; elle se présenta en même temps aux méditations du P. Lamy. Celui-ci exposa ses idées, en 1687, sous forme d'une lettre (2) adressée « à

(1) Varignon, *Nouvelle Mécanique*, Section première, Lemme XVI ; tome I, p. 84.

(2) *Nouvelle manière de démontrer les principaux théorèmes des élémens des Méchaniques.* Pour servir d'addition au Traité de Méchanique du R. P. Lamy, Prêtre de l'Oratoire. A Paris, chez André Pralard, ruë S. Jacques, à l'Occasion. MDCLXXXVII. — Les quelques pages dont se compose cet opuscule furent, en effet, accolées aux anciens *Traitez de Méchanique* du P. Lamy, dont le faux-titre fut également changé et remplacé par celui-ci : *Traitez de Méchanique, de l'équilibre des solides et des liqueurs.* Nouvelle édition. Où l'on ajoûte une nouvelle manière de

Monsieur de Dieulamant, Ingénieur du Roy, à Grenoble ».

Citons quelques passages de cette lettre : « 1° Lorsque deux forces tirent le corps Z (fig. 109) par les lignes AC et BC qu'on appelle lignes de *direction* de ces deux forces, il est évident que le corps Z n'ira pas ni sur la ligne AC, ni sur la ligne BC, mais par une autre ligne entre AC et BC, quelle que soit cette ligne que je nomme X, qui sera le chemin par lequel Z marchera.

» 2° Si le chemin X étoit fermé, alors Z qui est déter-

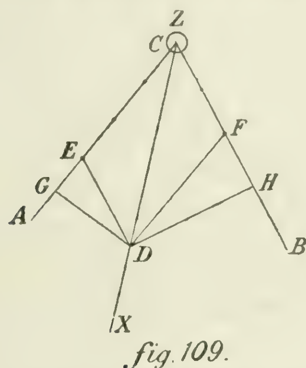


fig. 109.

miné à marcher par ce chemin demeureroit immobile, ainsi les forces seroient en équilibre... »

« 4° Force, c'est ce qui peut mouvoir. On ne mesure les mouvemens que par les espaces qu'ils parcourent. Supposons donc que la force A est à B comme 6 est à 2. Donc si A dans un premier instant tiroit à soi le corps Z jusqu'au point E, dans le même instant, B ne l'auroit tiré que jusques en F ; je suppose que CF n'est qu'un tiers de CE. Nous avons vû que Z ne peut pas aller par AC ni par BC ; ainsi il faut que dans le premier instant, il vienne à D où il répond à E et à F, c'est à dire qu'il a parcouru la valeur de CE et de FC.

démontrer les principaux théorèmes de cette Science. Par le P. Lamy, Prêtre de l'Oratoire. A Paris, chez André Pralard, ruë S. Jacques, à l'Occasion. MDCLXXXVII.

» Tout le monde convient de cela... »

« 6° Cette ligne X a ce rapport avec les lignes de direction des deux forces A et B que, de quel qu'un de ses points qu'on mène deux perpendiculaires sur ces deux lignes, elles sont entre elles réciproquement comme ces forces, ou comme DE à DF. »

Après avoir réduit à la composition des forces la théorie du plan incliné et du treuil, la loi d'équilibre d'une verge soutenue par deux cordes, etc., le P. Lamy ajoute : « Je ne crois donc pas qu'on puisse souhaiter un principe plus simple et plus fécond pour résoudre tous les problèmes qu'on peut faire sur les Méchaniques, et déterminer exactement la force de toutes les machines, de quelque manière qu'on leur applique les forces dont on se sert pour les remuer. »

L'analogie était très grande entre les idées que Varignon exposait dans son *Projet d'une Nouvelle Méchanique* et celle que le P. Lamy esquissait en même temps dans la lettre à M. de Dieulamant. Aussi, dans l'*Histoire des Ouvrages des Sçavans* de 1688, Basnage accusa-t-il le P. Lamy de plagiat à l'égard de Varignon : « Il y a apparence, disait-il, que le P. Lamy doit à M. Varignon la découverte de ces nouveaux principes de Méchanique. » Le P. Lamy se défendit (1) très vivement contre cette accusation et affirma l'indépendance non douteuse de sa découverte par rapport aux recherches de Varignon.

Le P. Lamy eût été en droit de signaler une différence entre la démonstration qu'il donnait de la loi du parallélogramme des forces et celle qu'en donnait Varignon, et de tirer vanité de cette différence ; elle était cependant bien minime en apparence ; elle consistait toute dans l'in-

(1) La *Nouvelle édition* des *Traitez de Méchanique* du P. Lamy se termine par un *Extrait du Journal des Sçavans* du Lundy 13 septembre 1688. Mémoire servant de Réponse à ce que l'Auteur de l'Histoire des ouvrages des Sçavans dit au mois d'avril 1688, art. 3, touchant une lettre où le P. Lamy proposa l'année dernière une nouvelle manière de démontrer les principaux Théorèmes des Élémens de Méchanique.

troduction de ces quelques mots : « Dans le premier instant » ; mais elle était bien profonde en réalité, puisque d'un raisonnement qui rapportait la loi de la composition des forces à la Dynamique péripatéticienne, elle faisait un raisonnement capable de rattacher la même loi à la Dynamique moderne. Il est bien vrai, en effet, selon cette Dynamique, que si diverses forces, constantes ou variables, agissent successivement sur un même mobile partant du repos, les vitesses qu'elles lui communiquent au bout d'un temps infiniment petit, le même pour toutes, sont proportionnelles aux intensités de ces forces.

En même temps donc qu'il proposait de réduire toute la Statique à un principe unique, représenté par la règle de la composition des forces, le P. Lamy parvenait à tirer cette règle des lois d'une Dynamique exacte. Or, au moment même où il adressait sa lettre à M. de Dieulamant, Newton faisait paraître son immortel ouvrage (1) sur les Principes mathématiques de la Philosophie naturelle. Le grand géomètre se proposait, lui aussi, de tirer des principes sur lesquels repose la science du mouvement une justification de la loi de la composition des forces ; il y parvenait en suivant exactement la même voie que le P. Lamy ; peut-être marquait-il cette voie d'une manière un peu moins claire que ne l'avait fait le savant oratorien.

A chaque force, Newton fait correspondre (2) ce que l'on pourrait nommer une *force instantanée*, ce qu'il désigne par les mots : *vis impressa*. Au sujet de cette *vis impressa*, il donne cette indication : « Consistit hæc vis in actione sola, neque post actionem permanet in corpore. » Il semble que sous cette formule, trop concise pour être claire, il faille deviner la pensée suivante : La *vis impressa* est l'effet produit par une force qui agit sur

(1) *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, auctore Isaaco Newtono. Londini, MDCLXXXVII.

(2) Newton, *loc. cit.*, Definitiones. Definitio IV.

un mobile pendant un temps infiniment petit, choisi une fois pour toutes.

La *vis impressa* détermine alors le mobile à se mouvoir en ligne droite, d'un mouvement uniforme dont, pour un mobile donné, la vitesse est proportionnelle à l'intensité de la force qui a été appliquée pendant un instant. De là, Newton tire sans peine la démonstration (1) de la loi du parallélogramme des forces.

Lorsque nous comparons aujourd'hui la déduction par laquelle Newton et le P. Lamy ont obtenu la loi de composition des forces concourantes à la voie par laquelle Varignon est parvenu au même résultat, nous faisons entre ces deux méthodes une extrême différence. Varignon obtient la loi du parallélogramme des forces au moyen de la loi de composition des vitesses et de cet axiome : Une force est dirigée comme la vitesse du mouvement qu'elle produit ; elle est proportionnelle à cette vitesse. Newton et le P. Lamy, au contraire, font usage de la règle de composition des accélérations et de ce postulat : L'accélération d'un mobile est dirigée comme la force qui le sollicite et est proportionnelle à cette force. De ces deux principes, nous réputons le premier erreur grave et le second vérité essentielle.

Il ne paraît pas que les géomètres du XVIIe siècle ou du XVIIIe siècle aient attaché la moindre importance à cette distinction. Les propositions auxquelles la Dynamique péripatéticienne avait, depuis deux mille ans, accoutumé les physiciens étaient encore familières à tous les esprits ; on continuait tout naturellement à les invoquer toutes les fois que leurs conséquences ne heurtaient pas trop violemment les vérités découvertes par la nouvelle Dynamique.

De ce que nous venons d'avancer, les écrits de Varignon ne nous offrent-ils pas un exemple saisissant ?

Lorsqu'en 1687, Varignon donne son *Projet d'une*

(1) Newton, *loc. cit.*, Axiomata, sive leges motus. Corollarium I.

nouvelle Méchanique, il prend pour point de départ de ses déductions des axiomes que l'on dirait empruntés à la *Physica auscultatio* ou au *De Cœlo*. Mais, à ce moment, Lamy et Newton montrent que les mêmes conséquences se peuvent tirer d'une Dynamique exacte. Varignon a sûrement connu la *Lettre* du P. Lamy et il serait de toute invraisemblance qu'il eût ignoré les *Principes* de Newton. En ces deux écrits, il trouvait le moyen de corriger ses raisonnements et de les rendre saufs de tout emprunt à une Physique surannée. S'est-il soucié de le faire ? Aucunement. Pendant trente-cinq ans, il consacre ses efforts à développer les indications contenues dans le *Projet*, et la *Nouvelle Mécanique* qu'il produit par ce labeur persévérant se trouve plus profondément imprégnée de Dynamique péripatéticienne que son premier essai.

La *Néo-Statique* du P. Saccheri prête à des remarques analogues.

Le P. Saccheri est originaire de San Remo, où il naquit à une date inconnue. Il mourut à Milan, le 5 octobre 1733. L'année même de sa mort, il avait publié un livre de géométrie intitulé : *Euclides ab omni nævo vindicatus* (1).

Cet ouvrage suffit à prouver que le P. Saccheri était un logicien original et puissant. Il lui a valu l'honneur d'être salué par Beltrami (2) comme un précurseur de Legendre et de Lobatchewsky ; et M. P. Mansion (3) a pu dire de cet ouvrage : « Malgré ses défauts, l'*Euclides ab omni nævo vindicatus* est l'ouvrage le plus remarquable que

(1) *Euclides ab omni nævo vindicatus sive conatus geometricus* quo stabiliuntur prima universæ geometriæ principia, auctore Hieronymo Saccherio, Societatis Jesu, in Ticinensi Universitate Matheseos professore. Opusculum ex^mo Senatui Mediolanensi ab auctore dicatum. Mediolani, MDCCXXXIII. Ex typographia Pauli Antonii Montani.

(2) E. Beltrami, *Un precursore italiano di Legendre e di Lobatchewski* (RENDICONTI DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI, t. V, p. 441 ; 17 mars 1889).

(3) P. Mansion, *Analyse des recherches du P. Saccheri, S. J., sur le Postulatum d'Euclide* (ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, XIVe année, 1889-90, seconde partie, p. 46).

l'on ait écrit sur les *Éléments* avant Lobatchewsky et Bolyai. »

Un tel géomètre semble particulièrement apte à éviter les paralogismes lorsqu'il traite des principes de la Mécanique; en sorte que l'on pourrait croire sa *Néo-Statique* (1), publiée en 1703, exempte de toute contradiction.

Un écrit de son confrère, le P. Ceva (2), avait signalé à l'attention du P. Saccheri certaines propriétés remarquables d'une pesanteur qui attirerait les éléments de volume des divers corps vers un centre fixe, et dont l'intensité serait proportionnelle à la distance de l'élément attiré au centre commun des graves.

Cette loi de gravité est précisément celle que Jean de Beaugrand, *le Géostaticien*, avait proposée et que Fermat acceptait avec quelques nuances.

Au sujet d'une pesanteur soumise à cette loi, Saccheri se propose de démontrer deux propositions qui sont, d'ailleurs, parfaitement exactes.

La première de ces propositions, qui semble condenser ce que les vues erronées de Fermat contenaient de vérité diffuse, peut se formuler ainsi : Si la gravité suit une telle loi, la pesanteur résultante d'un corps passe toujours par un point (*centre de gravité*) qui occupe, dans ce corps, une position absolument fixe et indépendante de la situation du corps.

La seconde de ces propositions affirme qu'un point, abandonné sans vitesse initiale et tombant en chute libre, mettra toujours le même temps pour parvenir au centre commun des graves, quelle que soit, au début du mouvement, sa distance à ce centre.

Des deux propositions que Saccheri se propose d'établir,

(1) *Neo-Statica* auctore Hieronymo Saccherio, e Societate Jesu, in Ticinensi Universitate matheseos professore, excellentissimo Senatui Mediolanensi; MDCCVIII. Ex typographia Josephi Pandulphi Malatestæ.

Je dois au R. P. Thirion la connaissance et la communication de ce rare ouvrage; qu'il me permette de lui en exprimer ici ma vive reconnaissance.

(2) Cf. Saccheri, *Neo-Statica*, lib. IV, Introductio, p. 125.

l'une ressortit à la Statique et l'autre à la Dynamique ; il nous sera donc donné de connaître les principes que le savant Jésuite emploie en ces deux branches de Mécanique.

Au point de départ de ses déductions, Saccheri place la notion de *momentum* (1) ; cette notion, voisine de celle que Galilée nommait *memento*, identique à la *quantité de mouvement* de Descartes, s'obtient en multipliant la *masse* (2) du mobile par la *vitesse* dont il est animé ; à cette vitesse même, Saccheri donne, en général, le nom d'*impetus* (3).

La composition et la décomposition des *momenta* ou des *impetus* n'est pas autre chose que la composition et la décomposition des vitesses ; de ce problème, il n'est point malaisé à Saccheri d'exposer la solution, connue depuis Aristote. Mais bientôt (4), nous voyons que les propositions ainsi obtenues subissent une insensible transposition; un imperceptible glissement transporte à la *vis motrix* ce que l'on avait prouvé de l'*impetus*, et les lois cinématiques de la composition des vitesses se transforment en lois statiques de la composition des forces, sans que l'auteur ait paru s'apercevoir de ce changement, que le lecteur discerne à grand'peine.

C'est par une telle transposition des *forces* aux *impetus* que se trouve évaluée (5) la pesanteur apparente d'un grave sur un plan incliné. Sans doute, il est question, en cette évaluation, de *vitesse à partir du repos (impetus ex quiete)* et l'on pourrait y voir l'indication que les forces doivent être mesurées par la vitesse qu'elles impriment, au bout d'un temps infiniment court, au mobile partant du repos ; les raisonnements de Saccheri seraient alors semblables à ceux de Lamy et de Newton ; ils seraient

(1) Saccheri, *Neo-Statica*, lib. I, Definitiones, p. 2.
(2) Id., *ibid.*, lib. I, Definitio 7, p. 2.
(3) Id , *ibid.*, lib. I, Definitio 9, p. 2.
(4) Id., *ibid.*, lib. I, Propp. IX, X, XI.
(5) Id., *ibid.*, lib. I, Propp. XXVII et XXVIII.

exacts. Mais aucun commentaire du mot *ex quiete* n'indique qu'il lui faille, en ce lieu, attribuer une telle importance ; dénué de tout rôle dans les considérations de Statique que développe Saccheri, il semble n'être qu'un subterfuge pour rendre moins criarde la contradiction qui éclate entre cette Statique et la Dynamique du même auteur.

Est-il possible, d'ailleurs, de douter un seul instant que Saccheri regarde la *vis motrix* comme proportionnelle à l'*impetus*, comme identique au *momentum*, lorsqu'on lit cette définition (1) du centre de gravité :

« Par *centre de gravité*, nous entendons, en tout grave, ce point par lequel passe la direction naturelle de l'*impetus* composé qui tend au centre commun des graves ; on doit comprendre que cette direction résulte de l'ensemble des *impetus* naturels par lesquels les diverses parties du grave tendent au même centre. »

Il est bien clair que la Statique de Saccheri repose tout entière sur la supposition que la force est proportionnelle à l'*impetus*, c'est-à-dire à la vitesse. Comme la Statique de Varignon, elle emprunte tous ses principes à la Dynamique d'Aristote.

Or, lorsqu'il aborde des problèmes de mouvement, c'est la Dynamique de Newton qu'invoque Saccheri.

Prenant un point pesant qui décrit une certaine trajectoire (2), il considère l'*impetus vivus* de ce point, c'est-à-dire (3) la *vitesse* dirigée suivant la tangente à la trajectoire ; il considère aussi, suivant une direction quelconque D, l'*impetus subnascens* ; cette grandeur est identique, d'après ce qu'il a sans cesse admis dans ses deux premiers livres, au quotient, par la masse du point, de la composante du poids suivant la direction D. Si Saccheri était conséquent avec les principes dont il a tiré sa Statique, il égalerait l'*impetus subnascens* selon la direction D à la

(1) Saccheri, *Neo-Statica*, lib. II, Definitio 5, p. 55.
(2) Id., *ibid.*, lib. III, Prop. I.
(3) Id., *ibid.*, lib. III, Admonitio, p. 84.

composante de l'*impetus vivus* selon la même *direction*. Ce n'est pas ce qu'il fait ; à l'*impetus subnascens*, il égale l'*accroissement (incrementum)* de la composante suivant D de l'*impetus vivus*. Pour parler notre moderne langage, il égale le quotient par la masse du mobile de la composante du poids suivant une certaine direction à la composante de l'*accélération* suivant la même direction ; l'égalité qu'il pose ainsi est le principe même de la Dynamique de Newton.

Nous voyons ainsi Saccheri, qui est un géomètre très habile et un logicien très subtil, se servir, pour traiter des problèmes de Dynamique newtonienne, de propositions de Statique qu'il a établies en suivant la méthode d'Aristote. Tout aussi bien, nous verrions le grand Euler, alors qu'il expose en un admirable traité (1) la Mécanique issue de l'œuvre de Newton, adopter en bloc les lois de Statique que Varignon a fondées sur les principes péripatéticiens.

Ces exemples suffisent à montrer combien la substitution de la Dynamique moderne à la Dynamique d'Aristote a été lente et malaisée. C'est que la Dynamique d'Aristote offrait une traduction bien plus immédiate des expériences les plus obvies ; infiniment plus abstraite, la Dynamique moderne est le fruit d'un prodigieux effort de réflexion et d'analyse ; il a fallu des siècles pour déshabituer l'esprit humain de la première et pour l'accoutumer à la seconde.

7. *La lettre de Jean Bernoulli à Varignon (1717) L'énoncé définitif du principe des déplacements virtuels*

En l'an 1687, il semble que la Mécanique ait pour toujours renoncé à la méthode des déplacements virtuels de

(1) *Mechanica sive Motus Scientia, analytice exposita*, auctore Leonhardo Eulero, Academiæ Imper. Scientiarum membro et matheseos sublimioris professore. Instar supplementi ad Commentar. Acad. Scient. Imper. Petropoli, ex typographia Academiæ Scientiarum. An. 1736.

Jordanus, de Descartes et de Wallis, aussi bien qu'à la méthode des vitesses virtuelles d'Aristote, de Charistion et de Galilée. Tous ceux qui ont écrit sur la Statique après Wallis, à l'exception de Casati et de De Challes, ou bien ont passé ces méthodes sous silence, ou bien ont déclaré que l'esprit n'y trouvait pas une suffisante assurance pour y prendre le fondement de la Statique ; tout au plus ont-ils consenti à en faire un corollaire de propositions construites sur d'autres hypothèses.

Après s'être efforcés d'asseoir toute la Statique sur le principe du levier, ils ont reconnu dans la loi de composition des forces concourantes un axiome d'où se peuvent aisément déduire les règles d'équilibre de toutes les machines ; en rattachant directement cette loi aux premiers principes de la théorie du mouvement, ils lui ont conféré une clarté et une certitude qui conviennent parfaitement à l'hypothèse sur laquelle doit reposer toute une doctrine.

La Statique semblait donc définitivement engagée dans la voie que Varignon traçait en son *Projet d'une Nouvelle Méchanique*, que le P. Lamy marquait dans sa lettre à M. de Dieulamant. Elle n'avait plus qu'à progresser dans la direction que ces auteurs lui avaient assignée. A ce progrès, d'ailleurs, Varignon consacrait le reste de sa vie ; il s'efforçait de conduire la Statique au but qu'il lui avait montré ; de ses efforts résultait cette *Nouvelle Mécanique ou Statique* qui, publiée peu de temps après la mort de son auteur, devait rester si longtemps classique.

Quant à la méthode des déplacements virtuels, dont nous avons suivi le développement continu de Jordanus à Descartes et à Wallis, il semblait qu'elle fût définitivement condamnée et qu'elle n'eût plus qu'à rentrer dans l'oubli.

Lorsqu'on suit le développement lent et compliqué par lequel une science se perfectionne, on voit parfois une idée qui, pendant un certain temps, a brillé d'un vif éclat, s'obscurcir peu à peu et cesser d'être perçue ; il

semble qu'elle soit à tout jamais éteinte. Mais bien souvent, cette disparition, que l'on prendrait pour une définitive extinction, n'est qu'une éclipse de peu de durée ; le moment où l'idée est devenue invisible à tous les yeux précède à peine celui où elle va reparaître, plus brillante qu'elle n'a jamais été, comme si elle s'était cachée un instant pour se reposer, pour reprendre de nouvelles forces et un nouvel éclat.

Déjà, nous avons vu la méthode des déplacements virtuels, qui s'était montrée si féconde dans les écrits de Jordanus, du Précurseur de Léonard de Vinci, de Léonard lui-même et de Cardan, négligée ou repoussée par Guido Ubaldo, par Benedetti et par Stevin. Mais le moment même où elle semblait complètement abandonnée est précisément celui où elle fut reprise par Roberval et surtout par Descartes, où son principe se dégagea, clair et autonome, de toute alliance avec le postulat des vitesses virtuelles et avec la Dynamique d'Aristote.

Nous allons assister à une résurrection toute semblable de la méthode des déplacements virtuels ; c'est dans le livre même qui semble consacrer l'irrémédiable défaite de cette méthode et le triomphe définitif de la Statique fondée sur la composition des forces, c'est dans la *Nouvelle Mécanique* de Varignon que nous allons voir le principe d'où découle cette méthode revêtir sa forme achevée.

Dans sa *Nouvelle Mécanique*, en effet, Varignon insère (1) une lettre que Jean Bernoulli lui avait adressée de Bâle le 26 janvier 1717. Cette lettre contient le passage suivant :

« Concevez plusieurs forces différentes qui agissent suivant différentes tendances ou directions pour tenir en équilibre un point, une ligne, une surface, ou un corps ;

(1) Pierre Varignon, *Nouvelle Mécanique ou Statique;* section IX, Corollaire général de la Théorie précédente. Tome II, p. 174.

concevez aussi que l'on imprime à tout le système de ces forces un petit mouvement, soit parallèle à soi-même suivant une direction quelconque, soit autour d'un point fixe quelconque : il vous sera aisé de comprendre que par ce mouvement chacune de ces forces avancera ou reculera dans sa direction, à moins que quelqu'une ou plusieurs des forces n'ayent leurs tendances perpendiculaires à la direction du petit mouvement ; auquel cas cette force, ou ces forces, n'avanceroient ni ne reculeroient de rien ; car

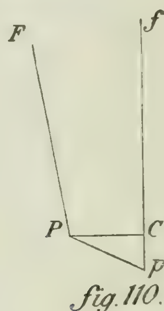


fig. 110.

ces avancemens ou reculemens, qui sont ce que j'appelle *vîtesses virtuelles* (1), ne sont autre chose que ce dont chaque ligne de tendance augmente ou diminue par le petit mouvement ; et ces augmentations ou diminutions se trouvent, si l'on tire une perpendiculaire à l'extrémité de la ligne de tendance de quelque force, laquelle perpendiculaire retranchera de la même ligne de tendance, mise dans la situation voisine par le petit mouvement, une petite partie qui sera la mesure de la *vîtesse virtuelle* de cette force.

» Soit, par exemple, P (fig. 110) un point quelconque

(1) On voit que Jean Bernoulli a donné le nom de *vitesses virtuelles* à des longueurs, et non point à des vitesses ; le nom de *déplacements virtuels* eût seul été correct ; cette fâcheuse dénomination a persisté en Mécanique, où beaucoup d'auteurs nomment encore *Principe des vitesses virtuelles* un principe où les vitesses n'ont que faire et qui devrait se nommer *Principe des déplacements virtuels.*

dans le système des forces qui se soutiennent en équilibre ; F, une de ces forces, qui pousse ou qui tire le point P suivant la direction FP ou PF ; P*p*, une petite ligne droite que décrit le point P par un petit mouvement, par lequel la tendance FP prend la direction *fp*, qui sera ou exactement parallèle à FP, si le petit mouvement du système se fait en tous les points du système parallèlement à une droite donnée de position (1) ; ou elle fera, étant prolongée, avec FP, un angle infiniment petit, si le petit mouvement du système se fait autour d'un point fixe. Tirez donc PC perpendiculaire sur *fp*, et vous aurez C*p* pour la *vitesse virtuelle* de la force F, en sorte que F $\times$ C*p* fait ce que j'appelle *Énergie*. Remarquez que C*p* est ou *affirmatif* ou *négatif* par rapport aux autres : il est affirmatif si le point P est poussé par la force F, et que l'angle FP*p* soit obtus ; il est *négatif*, si l'angle FP*p* est aigu ; mais au contraire, si le point P est tiré, C*p* sera *négatif* lorsque l'angle FP*p* est obtus ; et *affirmatif* lorsqu'il est aigu.

» Tout cela étant bien entendu, je forme cette Proposition générale : *En tout équilibre de forces quelconques, en quelque manière qu'elles soient appliquées, et suivant quelques directions qu'elles agissent les unes sur les autres, ou médiatement, ou immédiatement, la somme des Énergies affirmatives sera égale à la somme des Énergies négatives prises affirmativement.* »

C'est en ces termes que Bernoulli formule le principe, désormais complet, d'où l'on peut tirer toutes les lois de l'équilibre.

Comment Jean Bernoulli est-il parvenu à la connaissance de cet axiome général ? Ce que Varignon nous a communiqué de sa lettre ne nous donne aucun renseignement à cet égard ; mais il ne semble pas fort malaisé de

(1) Le lecteur remarquera que Jean Bernoulli introduit dans son énoncé quelques affirmations inexactes et quelques restrictions inutiles ; nous ne nous arrêterons pas à relever ces vétilles.

deviner ce que nous ne connaissons point par document positif.

La distance, en effet, est bien courte et bien aisée à franchir entre la forme que Wallis avait donnée au principe des déplacements virtuels et la forme que cet axiome vient de prendre ; pour passer de l'une à l'autre, il suffit de déclarer ouvertement ce que Wallis soupçonnait déjà, de considérer nettement des déplacements infinitésimaux, des travaux infiniment petits ; cette transformation ne pouvait offrir aucune difficulté à un géomètre rompu aux considérations de l'analyse infinitésimale. Il paraît donc très vraisemblable que Jean Bernoulli soit parvenu à son énoncé du principe des déplacements virtuels en coordonnant et en perfectionnant les affirmations éparses dans l'œuvre de Wallis. Par Wallis et par Descartes, son œuvre se reliait avec continuité aux ébauches de Jordanus et des mécaniciens de son École.

Ce n'est pas que la méthode des déplacements virtuels dont Bernoulli vient de donner l'énoncé général et précis, ravisse d'emblée tous les suffrages et que tous les mécaniciens y reconnaissent le principe d'où doit découler la Statique entière. Varignon, qui nous fait connaître la découverte du grand géomètre de Bâle, refuse d'y voir un principe ; il n'y reconnaît qu'un « corollaire général de la théorie » qu'il a fondée sur la loi du parallélogramme des forces. « Cette proposition me parut si générale et si belle, dit Varignon (1), que, voyant que je la pouvais aisément déduire de la théorie précédente, je lui demandai la permission qu'il m'accorda, de l'ajouter ici avec la démonstration que cette théorie m'en fournissoit, et qu'il ne m'envoyoit pas. La voici séparée pour toutes les machines précédentes. » Et, sans se lasser, Varignon consacre cinquante pages à prouver que toutes les machines dont il a tiré les conditions d'équilibre de la loi de la com-

(1) Varignon, *Nouvelle Mécanique ou Statique*, tome II, p. 174.

position des forces vérifient l'égalité posée par Bernoulli. Ainsi en avaient agi Guido Ubaldo avec l'axiome d'Aristote et le P. Pardies avec l'axiome de Descartes. Ils avaient refusé à ces postulats larges et féconds le titre de principes pour les reléguer au rang de corollaires.

Nous arrêtons ici cette Histoire. Avec la *Nouvelle Mécanique* de Varignon, avec la lettre de Jean Bernoulli, se trouve close cette période du développement de la Statique qui mérite d'être appelée *les Origines ;* la *Période classique* est ouverte. Nous avions entrepris de rechercher les sources d'un fleuve ; nous en avons décrit le bassin supérieur, aux gorges sinueuses et tourmentées ; le fleuve entre maintenant dans une plaine aux molles ondulations où, dans un large lit, ses flots vont poursuivre leur cours paisible.

Au moment où nous cessons de le suivre, ce fleuve est divisé en deux bras, son courant se partage en deux directions différentes, et ces deux directions semblent orientées par les deux impulsions que la Statique a reçues dès l'origine ; en l'une, nous reconnaissons la tendance d'Archimède ; en l'autre, la tendance d'Aristote.

D'Archimède à Varignon, les géomètres ont poursuivi un même idéal ; ils le poursuivront encore de Varignon à Poinsot, de Poinsot jusqu'à nos comtemporains. Ils rêvent de construire la Statique sur le modèle des *Éléments de Géométrie* d'Euclide. Ils veulent que, par une analyse aussi patiente qu'ingénieuse, les cas d'équilibre les plus compliqués des systèmes les plus divers soient décomposés, dissociés, jusqu'à ce que l'on voie clairement les équilibres simples, élémentaires, dont l'agencement complexe les a produits ; ils veulent, en outre, qu'en ces cas simples et élémentaires, le maintien de l'équilibre ait même évidence et même certitude que ces vérités de sens commun dont Euclide a fait ses demandes. Donner à la Statique des principes que l'on puisse réputer aussi clairs

et assurés que les axiomes de la Géométrie, tel était déjà l'objet d'Archimède lorsqu'il composait son Traité Περὶ ἐπιπέδων ἰσοῤῥοπικῶν ; tel était encore le désir de Daniel Bernoulli, puis de Poisson, lorsqu'ils s'efforçaient d'établir la loi du parallélogramme des forces sans faire appel aux principes généraux de la Dynamique.

Tandis que ce courant entraîne un bon nombre de mécaniciens, d'autres suivent la direction qu'Aristote avait déjà imprimée à la Statique. Leurs efforts ne tendent point à une analyse qui dissocie les lois les plus complexes de l'équilibre et les réduise à des propositions élémentaires claires et évidentes de soi ; ils tendent bien plutôt à une large synthèse ; tous les cas de repos que l'on rencontre dans la nature ou que l'art réalise, ils s'efforcent de les embrasser en un principe unique et universel. Assurément, ils tirent ce principe de quelques observations simples et obvies ; mais l'extrême généralisation par laquelle ils passent de quelques expériences particulières à une loi si ample, efface en celle-ci tout caractère d'évidence immédiate. Plus la science, en se développant, prend conscience des procédés logiques qu'elle met en œuvre, et mieux elle comprend que la certitude d'une hypothèse aussi générale ne pouvait être contenue dans les quelques faits qui l'ont suggérée ; mieux elle voit que ce qui confirme cette hypothèse et nous assure de sa valeur, c'est l'aisance avec laquelle elle classe la multitude des lois diverses que l'expérience a découvertes, c'est la sûreté avec laquelle elle annonce à l'expérience de nouvelles lois à découvrir.

C'est cette dernière tendance qui a conduit les géomètres, depuis Jordanus et ses élèves jusqu'à Roberval et à Descartes, depuis Descartes et de Wallis jusqu'à Jean Bernoulli, à préciser et à étendre sans cesse le principe des déplacements virtuels.

Entre ces deux tendances dont chacune s'efforce de diriger la Statique, le conflit est incessant. Mais un

observateur impartial de cette lutte n'a point de peine à reconnaître les qualités des deux méthodes. Certes, l'esprit d'analyse, par sa critique méticuleuse, contribue à dégager de toute trace d'erreur les vérités que l'esprit de synthèse a fait découvrir ; mais ses propres découvertes, rares et maigres, ne servent qu'à mieux prouver sa stérilité. La fécondité est l'apanage de l'esprit de synthèse ; c'est la méthode des déplacements virtuels qui, sans cesse, élargit le champ de la Statique.

L'emploi exclusif de cette méthode caractérise la *Mécanique analytique* de Lagrange.

L'œuvre de Lagrange est le confluent où viennent se réunir tous les courants qui, successivement, ont entraîné la Statique, où aboutissent toutes les tendances qui en ont diversement orienté l'évolution.

La Statique a mis à l'origine de ses déductions tantôt le principe du levier, tantôt les propriétés du plan incliné, tantôt la loi de la composition des forces ; tous ces principes sont équivalents entre eux, et leur équivalence résulte de ce fait qu'ils découlent tous immédiatement du principe des déplacements virtuels. Ainsi la science de l'équilibre se trouve ramenée par Lagrange à une parfaite unité ; elle se trouve tout entière condensée dans une seule formule.

Varignon, reprenant une idée qu'Albert de Saxe et Guido Ubaldo avaient esquissée, s'est efforcé de trouver la raison de tous les cas d'équilibre dans les pressions que les corps mobiles exercent sur leurs appuis. Lagrange tire de la méthode des déplacements virtuels un procédé aussi simple que sûr pour définir et déterminer ces pressions qu'annulent les liaisons.

La doctrine d'Albert de Saxe, selon laquelle le centre de gravité de tout corps pesant tend à s'unir au centre commun des graves, a fourni un principe de Statique que Galilée et Torricelli énoncent en ces termes : Un système est en équilibre lorsque tout changement de sa disposition obligerait son centre de gravité à s'élever. Ce principe est

demeuré longtemps séparé du principe de l'égalité entre le travail moteur et le travail résistant, du principe de Jordanus, de Descartes, de Wallis et de Jean Bernoulli. Lagrange met à nu le lien étroit qui unit ces deux principes.

Le principe de Torricelli n'est pas l'exact équivalent du principe de Jean Bernoulli ; celui-ci prévoit tous les cas d'équilibre, celui-là en exclut quelques-uns ; c'est grâce à la théorie générale de la stabilité, créée par Lagrange, que l'on peut caractériser les cas d'équilibre que fait connaître le principe de Torricelli et montrer que ce sont les seuls équilibres stables.

Les physiciens se sont efforcés de tirer le principe fondamental de la Statique des lois de la Dynamique ; Roberval et Varignon ont ainsi déduit la loi du parallélogramme des forces de l'antique Dynamique péripatéticienne, de la proportionnalité entre la force et la vitesse ; le P. Lamy et Newton l'ont, plus justement, déduite de la proportionnalité entre la force et l'accélération. D'Alembert a, en quelque sorte, retourné la question et montré comment tout problème de mouvement se pouvait ramener à un problème d'équilibre. Lagrange demande alors à la méthode des déplacements virtuels la formule qui met en équation tout problème de mouvement.

Les assemblages de corps solides ne sont d'ailleurs point les seuls systèmes dont l'équilibre dépende du principe des déplacements virtuels ; la Statique des systèmes déformables et, particulièrement, des fluides, découle tout entière de ce principe ; les diverses méthodes propres à traiter l'Hydrostatique qu'ont proposées Newton, Bouguer, Clairaut, Euler, peuvent toutes se ramener à cette méthode générale.

Ainsi, par la méthode des déplacements virtuels, Lagrange constitue une Statique admirablement une et ordonnée, où se classent en un ordre parfait toutes les lois de l'équilibre des corps solides ou fluides, où tous les

désirs légitimes de ceux qui ont promu la science de l'équilibre trouvent leur pleine satisfaction.

Après Lagrange, la méthode des déplacements virtuels reste la méthode la plus précise, la plus générale, celle que les mécaniciens appellent à leur aide toutes les fois qu'il s'agit de dissiper une obscurité, de résoudre une embarrassante difficulté.

Navier a obtenu, sans le secours de cette méthode, les équations indéfinies de l'équilibre élastique ; mais, lorsqu'il veut compléter son œuvre et joindre aux équations indéfinies les conditions aux limites qui achèvent la détermination du problème, il reprend ce problème par la méthode des déplacements virtuels.

Poisson pense que l'élasticité d'un corps cristallisé ne dépend, en général, que de 15 coefficients ; Cauchy et Lamé en portent le nombre à 36 ; c'est en usant des procédés de Lagrange que Green peut trancher le débat et prouver que le nombre exact de ces coefficients est 21.

Par le principe de l'équilibre des canaux, que Clairaut a imaginé et que Lagrange a déduit du principe des déplacements virtuels, Laplace a obtenu l'équation de la surface capillaire ; mais ses démonstrations sont peu sûres lorsqu'il veut établir les lois qui régissent le contact du liquide et du tube ; la constance de l'angle de raccordement est postulée et non démontrée. Gauss, dans un travail qui offre l'un des plus beaux exemples de la méthode de Lagrange, demontre avec une entière précision l'ensemble des lois de la capillarité.

La théorie de l'équilibre des plaques élastiques semble poser aux géomètres une désespérante énigme ; Cauchy et Poisson ne s'accordent pas dans l'énoncé des conditions qui doivent être vérifiées au bord d'une plaque ; les conditions qu'ils proposent sont surabondantes. C'est encore la méthode des déplacements virtuels qui permet à Kirchhoff de donner le mot de l'énigme, d'écrire, sans omission

ni répétition, toutes les conditions requises au bord d'une plaque élastique.

Certes, la méthode des déplacements virtuels peut être fière du domaine qu'elle a conquis et auquel elle a imposé des lois si claires et un ordre si parfait ; mais voici qu'à la fin du XIX[e] siècle de nouvelles contrées, prodigieusement riches et étendues, viennent accroître son empire. Ce ne sont plus seulement les équilibres mécaniques qui se soumettent à ses arrêts ; elle pose, avec une souveraine autorité, les conditions des équilibres qui mettent fin aux changements d'état physique ou aux réactions chimiques, comme de ceux qui s'établissent en des systèmes électrisés et aimantés. La graine infime semée par Jordanus ne s'est pas contentée de produire la *Mécanique analytique* de Lagrange ; elle a encore engendré la Mécanique chimique et la Mécanique électrique de Gibbs et de Helmholtz.

CONCLUSION

Après qu'il a parcouru le causse desséché du Larzac, aux mamelons de pierre grise, aux dédales rocheux, semblables à des ruines de cités, le voyageur dirige ses pas vers les plaines que baigne la Méditerranée. Le chemin qu'il doit suivre est dessiné par de larges ravines ; traces d'anciens torrents ou de rivières taries, elles s'enfoncent peu à peu, entaillant toujours plus profondément le plateau calcaire. Ces ravines confluent bientôt en une gorge unique ; de hautes murailles à pic, surmontées de dangereux glacis de pierres croulantes, resserrent le lit où, jadis, une belle rivière roulait ses eaux profondes et impétueuses. Aujourd'hui, ce lit n'est plus qu'un chaos de blocs brisés et usés ; nulle source ne suinte aux parois rocheuses, nulle flaque d'eau ne mouille les graviers; entre les amas pierreux, nulle plante ne verdoie. La *Vissec*, tel est le nom que les Cévennols ont donné à ce fleuve d'aridité et de mort.

Le marcheur, qui chemine péniblement parmi les graves et les éboulis, perçoit par intervalles une sourde rumeur, semblable aux roulements d'un tonnerre lointain ; au fur et à mesure qu'il avance, il entend ce grondement s'enfler, pour éclater enfin en un formidable fracas : c'est la grande voix de la *Foux*.

Dans la paroi calcaire, une sombre caverne est béante, largement fendue comme une énorme gueule ; sans relâche, cette gueule vomit en un gouffre, avec des transparences de cristal et des bouillonnements d'écume blanche, la masse puissante des eaux que les fissures du causse ont recueillies au loin, qu'elles ont réunies en un lac souterrain.

D'un seul coup, une rivière est formée ; désormais, la *Vis* roule ses eaux limpides et froides parmi les grèves

blanches et les oseraies d'argent ; son gai murmure éveille — tel un écho — le tic-tac des moulins et le rire sonore des villages cévennols, tandis qu'un grand rayon de soleil, rasant le bord crénelé du causse, glisse, oblique, jusqu'au fond de la gorge et pose un ourlet d'or aux rameaux des peupliers.

Lorsque l'histoire classique, faussée par les préjugés et tronquée par les simplifications voulues, prétend retracer le développement des sciences exactes, l'image qu'elle évoque à nos yeux est toute semblable au cours de la Vis.

Autrefois, la Science hellène a épanché avec abondance ses eaux fertilisantes ; alors le monde a vu germer et croître les grandes découvertes, à tout jamais admirables, des Aristote et des Archimède.

Puis, la source de la pensée grecque a été tarie et le fleuve auquel elle avait donné naissance a cessé de vivifier le moyen âge. La science barbare de ce temps n'a plus été qu'un chaos où s'entassaient pêle-mêle les débris méconnaissables de la sagesse antique ; fragments desséchés et stériles auxquels se cramponnent seulement, comme des lichens parasites et rongeurs, les gloses puériles et vaines des commentateurs.

Tout à coup, une grande rumeur a ému cette aridité scolastique ; de puissants esprits ont fendu le rocher dont les entrailles recélaient, endormies depuis des siècles, les eaux pures jaillies des sources antiques ; libérées par cet effort, ces eaux se sont précipitées, joyeuses et abondantes ; elles ont provoqué, partout où elles passaient, la renaissance des sciences, des lettres et des arts ; la pensée humaine a reconquis sa force en même temps que sa liberté ; et, bientôt, l'on a vu naître les grandes doctrines qui, de siècle en siècle, pousseront toujours plus profondément leurs pénétrantes racines, étendront toujours plus loin leur imposante ramure.

Histoire insensée ! Au cours de l'évolution par laquelle

se développe la science humaine, elles sont bien rares, les naissances subites et les renaissances soudaines — de même que, parmi les sources, la Foux est une exception.

Une rivière ne remplit pas tout d'un coup un large lit de ses eaux profondes. Avant de couler à pleins bords, le fleuve était simple ruisseau et mille autres ruisseaux, semblables à lui, lui ont, tour à tour, apporté leur tribut. Tantôt les affluents sont venus à lui nombreux et abondants, et alors sa crue a été rapide ; tantôt, au contraire, de minces et rares filets ont seuls alimenté son imperceptible croissance ; parfois même les fissures d'un sol perméable ont bu une partie de ses eaux et appauvri son débit ; mais, toujours, son flux a varié d'une manière graduelle, ignorant les disparitions totales et les soudaines résurrections.

La Science, en sa marche progressive, ne connaît pas davantage les brusques changements ; elle croît, mais par degrés ; elle avance, mais pas à pas. Aucune intelligence humaine, quelles que soient sa puissance et son originalité, ne saurait produire de toutes pièces une doctrine absolument nouvelle. L'historien ami des vues simples et superficielles célèbre les découvertes fulgurantes qui, à la nuit profonde de l'ignorance et de l'erreur, ont fait succéder le plein jour de la vérité. Mais celui qui soumet à une analyse pénétrante et minutieuse l'invention la plus primesautière et la plus imprévue en apparence, y reconnaît presque toujours la résultante d'une foule d'imperceptibles efforts et le concours d'une infinité d'obscures tendances. Chaque phase de l'évolution qui, lentement, conduit la Science à son achèvement, lui apparaît marquée de ces deux caractères : la continuité et la complexité.

Ces caractères se manifestent avec une particulière netteté à celui qui étudie les origines de la Statique.

De la Statique ancienne, l'historien simpliste ne mentionne qu'une seule œuvre, l'œuvre d'Archimède ; il nous la montre dominant, comme un colosse isolé, l'ignorance

qui l'environne. Mais, pour admirer la grandeur de cette œuvre, il n'est point nécessaire de la rendre monstrueuse par un incompréhensible isolement. La Statique du géomètre de Syracuse, cette recherche d'une impeccable rigueur au cours des déductions, cette analyse subtile appliquée à des problèmes compliqués, ces solutions, merveilleusement habiles, de questions dont l'intérêt, caché au vulgaire, apparaît au seul géomètre, portent, à n'en pas douter, la marque d'une Science raffinée ; elles ne ressemblent nullement aux tâtonnantes hésitations d'une doctrine naissante.

Il est clair qu'Archimède a eu des précurseurs ; ceux-ci ont, avant lui, par d'autres méthodes que lui, aperçu les lois de l'équilibre du levier auxquelles il devait donner un développement magnifique.

De ces précurseurs, d'ailleurs, la trace est demeurée empreinte dans l'histoire. Les Μηχανικὰ προβλήματα ne sont peut-être pas d'Aristote comme la tradition le prétend ; en tout cas, la Statique qui y est exposée se rattache si directement à la Dynamique admise dans la Φυσικὴ ἀκρόασις et dans le Περὶ Οὐρανοῦ que nous les devons attribuer à quelque disciple immédiat du Stagirite. Les méthodes de démonstration qui y sont suivies peuvent avoir été des méthodes d'invention, alors que, des déductions d'Archimède, l'on ne saurait concevoir la même opinion.

D'autre part, une tradition antique et vivace persiste à attribuer à Euclide des écrits sur le levier. Ces écrits ne sont peut-être point ceux que nous possédons sous le nom du grand géomètre. Mais il serait difficile, en niant leur existence, d'expliquer la constante rumeur qui l'affirme.

Si Archimède a eu des précurseurs, il a eu assurément, dans l'Antiquité, des continuateurs. La science byzantine et alexandrine a poursuivi les voies diverses qu'il avait tracées. L'art de l'ingénieur, que le grand Syracusain avait porté à un très haut degré, inspirait les tentatives de Ctesibios, de Philon de Byzance, de Héron d'Alexan-

drie ; Pappus, au contraire, s'efforçait, dans la recherche des centres de gravité, d'égaler le talent du géomètre ; enfin, l'énigmatique Charistion, par ses raisonnements sur la balance romaine, pénétrait plus avant qu'Aristote et Archimède au sein des principes de la Statique.

De cette Statique hellène, les Arabes n'ont transmis qu'une bien faible part aux Occidentaux du moyen âge. Mais ceux-ci ne sont nullement les commentateurs serviles et dénués de toute invention que l'on se plaît à nous montrer en eux. Les débris de la pensée grecque, qu'ils ont reçus de Byzance ou de la Science islamique, ne demeurent point en leur esprit comme un dépôt stérile ; ces reliques suffisent à éveiller leur attention, à féconder leur intelligence ; et, dès le XIIIe siècle, peut-être même avant ce temps, l'École de Jordanus ouvre aux mécaniciens des voies que l'Antiquité n'avait pas connues.

Les intuitions de Jordanus de Nemore sont, d'abord, bien vagues et bien incertaines ; de très graves erreurs s'y mêlent à de très grandes vérités ; mais, peu à peu, les disciples du grand mathématicien épurent la pensée du maître ; les erreurs s'effacent et disparaissent ; les vérités se précisent et s'affermissent, et plusieurs des lois les plus importantes de la Statique sont enfin établies avec une entière certitude.

En particulier, nous devons à l'École de Jordanus un principe dont l'importance se marquera, avec une netteté toujours croissante, au cours du développement de la Statique. Sans analogie avec les postulats, spéciaux au levier, dont se réclamaient les déductions d'Archimède, ce principe n'a qu'une affinité éloignée avec l'axiome général de la Dynamique péripatéticienne. Il affirme qu'une même puissance motrice peut élever des poids différents à des hauteurs différentes, pourvu que les hauteurs soient en raison inverse des poids. Appliqué par Jordanus au seul levier droit, ce principe fait connaître au Précurseur de Léonard de Vinci la loi d'équilibre du levier

coudé, la notion de moment, la pesanteur apparente d'un corps posé sur un plan incliné.

Au XIVᵉ et au XVᵉ siècles, la Statique issue de l'École de Jordanus suit paisiblement son cours sans qu'aucun affluent important en vienne accroître le débit ; mais, au début du XVIᵉ siècle, elle se prend à rouler comme un torrent impétueux, car le génie de Léonard de Vinci vient de lui apporter son tribut.

Léonard de Vinci n'est point du tout un voyant qui, subitement, découvre des vérités insoupçonnées jusqu'à lui ; il possède une intelligence prodigieusement active, mais sans cesse inquiète et hésitante. Il reprend les lois de Mécanique que ses prédécesseurs ont établies, les discute, les retourne en tous sens. Ses incessantes méditations l'amènent à préciser certaines idées déjà connues des disciples de Jordanus, à en montrer la richesse et la fécondité ; telle la notion de puissance motrice ; telle aussi la notion de moment ; de cette dernière, il fait jaillir, par une admirable démonstration, la loi de composition des forces concourantes. Mais son esprit, enclin aux tâtonnements, aux retouches et aux repentirs, ne sait point toujours garder fermement les vérités qu'il a un instant saisies. Léonard ne parvient pas à fixer son opinion au sujet du problème du plan incliné, si parfaitement résolu dès le XIIIᵉ siècle.

L'indécision qui, toujours, agita l'âme de Léonard, qui, si rarement, l'a laissé achever une œuvre, ne lui a pas permis de mener à bien le *Traité des poids* qu'il souhaitait d'écrire. Le fruit de ses réflexions, cependant, ne fut point entièrement perdu pour la Science. Par la tradition orale qui avait pris naissance durant sa vie, par la dispersion de ses manuscrits après sa mort, ses pensées furent jetées aux quatre vents du ciel et quelques-unes rencontrèrent un terrain propice à leur développement.

Cardan, l'un des esprits les plus universels et l'un des hommes les plus étranges qu'ait produits le XVIᵉ siècle,

Tartaglia, mathématicien de génie, mais plagiaire impudent, restituèrent à la Statique de la Renaissance plusieurs des découvertes faites par l'École de Jordanus ; mais ils les lui restituèrent souvent sous la forme plus riche et plus féconde que leur avait donnée Léonard de Vinci.

Les écrits de Tartaglia et de Cardan répandent, en plein XVI[e] siècle, un afflux de la Mécanique du moyen âge. Mais, à ce moment, un courant en sens contraire prend naissance et vigueur en les traités de Guido Ubaldo del Monte et de J. B. Benedetti. Les œuvres de Pappus et d'Archimède viennent d'être exhumées ; elles sont étudiées avec passion et commentées avec talent ; elles donnent aux mécaniciens le goût de cette impeccable rigueur où, depuis Euclide, excellent les géomètres. Cette admiration enthousiaste et exclusive pour les monuments de la Science hellène fait rejeter avec mépris les découvertes profondes, mais encore confuses et mêlées d'erreur, qu'ont produites les Écoles du XIII[e] siècle ; les plus pénétrantes intuitions de Jordanus et de ses disciples sont méconnues par l'École nouvelle, qui appauvrit et épuise la Statique sous prétexte de la rendre plus pure. De même, l'admiration exclusive des œuvres empreintes de la beauté grecque fait traiter de *gothiques* les plus merveilleuses créations artistiques du moyen âge.

A la fin du XVI[e] siècle donc, presque rien ne subsistait de ce qu'avait spontanément produit, en Statique, le génie propre de l'Occident. L'œuvre était à refaire. Il fallait reprendre les démonstrations des vérités que les docteurs du moyen âge avaient aperçues et leur assurer toute la clarté, toute la précision, toute la rigueur des théories léguées par les Grecs. A cette restauration vont se consacrer, jusqu'au milieu du XVII[e] siècle, les plus puissants géomètres de la Flandre, de l'Italie et de la France.

Malgré l'extraordinaire talent des ouvriers, que de tâtonnements et de malfaçons, avant que l'ouvrage soit mené à bien !

Une déduction rigoureuse suppose des axiomes. Où trouver les postulats auxquels s'attacheront fixement les raisonnements de la Statique ? Ceux qu'Archimède a formulés sont infiniment particuliers ; ils suffisent à peine à traiter de l'équilibre du levier droit. De toute nécessité, il faut avoir recours à des hypothèses nouvelles. Les mécaniciens qui vont les énoncer les donneront pour principes inédits et vérités inouïes. Mais si nous les dépouillons du masque d'originalité dont les a affublées l'amour-propre de ceux qui les proclament, nous y reconnaîtrons presque toujours des propositions fort anciennes qu'une longue tradition a conservées, qu'elle a mûries, et dont elle a montré la fécondité. Là où une histoire trop sommaire et trop systématique a cru voir une Renaissance de la méthode scientifique, oubliée depuis les Grecs, nous verrons le développement naturel de la Mécanique du moyen âge.

Galilée, dont la légende fait le créateur de la Dynamique moderne, va chercher le fondement de ses déductions dans la Dynamique déjà chancelante d'Aristote. Il postule la proportionnalité entre la force qui meut un mobile et la vitesse de ce mobile. Les travaux des mécaniciens du XIIIe siècle l'inspirent lorsqu'il veut tirer de ce principe la pesanteur apparente d'un corps posé sur un plan incliné ; mais ils ne vont pas jusqu'à lui faire reconnaître que la notion cardinale de toute la Statique est la notion de *puissance motrice*, produit d'un poids par sa hauteur de chute. A cette notion, Galilée substitue celle de *momento*, produit du poids par la vitesse de sa chute, notion qui se relie immédiatement à la Dynamique déjà condamnée d'Aristote.

Pour traiter de la pesanteur apparente sur un plan incliné, Stevin invoque l'impossibilité du mouvement perpétuel ; or, ce principe, Léonard de Vinci et Cardan l'avaient formulé avec une netteté singulière, en le rattachant à la notion de puissance motrice qu'ils tenaient eux-

mêmes de l'École de Jordanus. Mais cette notion n'apparait qu'incidemment dans l'œuvre de Stevin ; le grand géomètre de Bruges n'en a point vu l'extrême importance.

Elle s'affirme plus nettement en la belle démonstration que donne Roberval de la règle selon laquelle se composent des forces concourantes ; cette démonstration, qui comble si heureusement une profonde lacune, béante en l'œuvre de Stevin, n'est point, d'ailleurs, d'un type imprévu ; pour traiter de l'équilibre du levier coudé, ce disciple de Jordanus qui fut le Précurseur de Léonard de Vinci en avait tracé le modèle.

Le génie admirablement clair et méthodique de Descartes a tôt fait de saisir avec sûreté l'idée maîtresse qui doit régir toute la Statique. Cette idée, c'est celle dont Jordanus avait déjà marqué l'emploi dans la théorie du levier droit, celle dont son disciple avait fait usage pour traiter du levier coudé et du plan incliné ; c'est la notion de *puissance motrice*. Cette notion, Descartes la définit avec précision ; il l'oppose victorieusement au *momento* considéré par Galilée ; tandis que l'emploi du *momento* découle d'une Dynamique désormais insoutenable, la notion de puissance motrice permet de formuler un axiome, très clair et très sûr, qui porte la Statique tout entière ; et ce principe autonome n'attend point, pour devenir acceptable, que la Dynamique nouvelle ait été construite sur les ruines de la Dynamique péripatéticienne.

Malheureusement, l'orgueil insensé qui trouble la conscience de Descartes le pousse à exagérer la grandeur du service qu'il rend à la Statique, et à l'exagérer au point d'en fausser la nature. Incapable, plus encore que Stevin, que Galilée et que Roberval, de rendre justice à ses prédécesseurs, il se donne pour le créateur d'une doctrine dont il n'est que l'organisateur. D'ailleurs, ce que nous disons ici de la Statique cartésienne, ne le pourrait-on répéter du Cartésianisme tout entier ? La superbe de son auteur a triomphé, et son triomphe n'a point d'analogue

dans l'histoire de l'esprit humain ; elle a dupé le monde ; elle a fait prendre le Cartésianisme pour une création étrangement spontanée et imprévue ; cependant, ce système n'était, presque toujours, que la conclusion nettement formulée d'un labeur obscur, poursuivi pendant des siècles. Le vol gracieux du papillon aux ailes chatoyantes a fait oublier les lentes et pénibles reptations de l'humble et sombre chenille.

Les quelques lignes où Jordanus démontrait la règle du levier droit contenaient en germe une idée juste et féconde ; de Jordanus à Descartes, cette idée s'est développée au point de comprendre la Statique tout entière. Tandis que se poursuit et s'achève cette graduelle évolution d'une vérité, la Science est le théâtre d'un phénomène non moins intéressant, mais plus étrange ; une doctrine fausse se transforme peu à peu en un principe très profond et très exact ; il semble qu'une force mystérieuse, attentive au progrès de la Statique, sache rendre également bienfaisantes la vérité et l'erreur.

Archimède avait usé, sans la définir, de la notion de centre de gravité ; certains géomètres s'étaient efforcés de la préciser ; mais Albert de Saxe et, après lui, la plupart des physiciens de l'École, profitant de l'indétermination mécanique où demeurait ce point, lui attribuaient des propriétés tout autres que celles dont nous le douons aujourd'hui ; en chaque portion de matière, ils y voyaient le lieu où se trouvait concentrée la pesanteur de cette matière ; la pesanteur d'un corps leur apparaissait comme le désir que le centre de gravité de ce corps a de s'unir au centre de l'Univers. La révolution copernicaine, en déplaçant le centre de l'Univers, en niant même, avec Giordano Bruno, l'existence de ce centre, ne modifia guère cette théorie de la pesanteur ; elle vit en cette qualité la tendance qu'a le centre de gravité de chaque corps à s'unir à son semblable, le centre de gravité de la Terre.

L'un des titres de gloire de Képler est d'avoir éloquem-

ment combattu cette hypothèse d'une attraction entre points géométriques et d'avoir affirmé que l'attraction de gravité s'exerçait entre les diverses parties de la Terre prises deux à deux ; mais ses contemporains, moins clairvoyants, ne partageaient pas cette opinion ; en particulier, Benedetti, Guido Ubaldo et Galilée affirmaient la sympathie que le centre de gravité de chaque corps éprouve pour le centre commun des graves, tandis que Bernardino Baldi et Villalpand plagiaient les corollaires exacts que Léonard de Vinci avait tirés de cette doctrine erronée.

Lorsque cette tendance se trouve satisfaite aussi complètement que le permettent les liaisons d'un système de poids ; en d'autres termes, lorsque le centre de gravité du système est le plus près possible du centre de la Terre, rien ne sollicite plus le système à se mouvoir ; il demeure en équilibre. Tel est le principe de Statique que formulent Cardan, Bernardino Baldi, Mersenne, Galilée, qui le doivent peut-être à Léonard de Vinci.

Ce principe est faux ; mais, pour le rendre exact, il suffira de rejeter à l'infini le centre de la Terre que Galilée invoque sans cesse dans ses raisonnements et de regarder les verticales comme parallèles entre elles. La modification paraît insignifiante ; elle est grave, cependant, puisqu'elle transforme une affirmation erronée en un axiome exact et fécond ; elle est grave, aussi, en ce qu'elle suppose l'abandon d'une théorie de la pesanteur très ancienne et très autorisée.

Les débats confus et compliqués que provoquent, en France, les recherches de Beaugrand et de Fermat sur la variation de la pesanteur avec l'altitude préparent cette réforme. Torricelli l'accomplit ; il dote ainsi la Science d'un nouveau postulat propre à fonder la Statique.

Lorsque l'historien, après avoir suivi le développement continu et complexe de la Statique, se retourne pour embrasser d'un coup d'œil le cours entier de cette Science, il ne peut, sans un étonnement profond, comparer l'am-

pleur de la théorie achevée à l'exiguïté du germe qui l'a produite. D'une part, en un manuscrit du XIIIe siècle, il déchiffre quelques lignes d'une écriture gothique presque effacée ; elles justifient d'une manière concise la loi d'équilibre du levier droit. D'autre part, il feuillette de vastes traités, composés au XIXe siècle ; en ces traités, la méthode des déplacements virtuels sert à formuler les lois de l'équilibre aussi bien pour les systèmes purement mécaniques que pour ceux où peuvent se produire des changements d'état physique, des réactions chimiques, des phénomènes électriques ou magnétiques. Quel disparate entre la minuscule démonstration de Jordanus et les imposantes doctrines des Lagrange, des Gibbs et des Helmholtz ! Et cependant, ces doctrines étaient en puissance dans cette démonstration ; l'histoire nous a permis de suivre pas à pas les efforts par lesquels elles se sont développées à partir de cette humble semence.

Ce contraste entre le germe, extrêmement petit et extrêmement simple, et l'être achevé, très grand et très compliqué, le naturaliste le contemple chaque fois qu'il suit le développement d'une plante ou d'un animal quelque peu élevé en organisation. Cette opposition, cependant, n'est peut-être point ce qui excite au plus haut degré son admiration. Un autre spectacle est plus digne encore d'attirer son attention et de servir d'objet à ses méditations.

Le développement qu'il étudie résulte d'une infinité de phénomènes divers ; il faut, pour le produire, une foule de divisions de cellules, de bourgeonnements, de transformations, de résorptions. Tous ces phénomènes, si nombreux, si variés, si compliqués, se coordonnent entre eux avec une précision parfaite ; tous concourent d'une manière efficace à la formation de la plante ou de l'animal adulte. Et cependant, les êtres innombrables qui agissent en ces phénomènes, les cellules qui prolifèrent, les phagocytes qui font disparaître les tissus devenus inutiles, ne connaissent assurément pas le but qu'ils s'efforcent d'atteindre ;

ouvriers qui ignorent l'œuvre à produire, ils réalisent néanmoins cette œuvre avec ordre et méthode. Aussi le naturaliste ne peut-il s'empêcher de chercher, en dehors d'eux et au-dessus d'eux, un je-ne-sais-quoi qui voie le plan de l'animal ou de la plante à venir et qui, à la formation de cet organisme, fasse concourir la multitude des efforts inconscients ; avec Claude Bernard, il salue l'*idée directrice* qui préside au développement de tout être vivant.

A celui qui l'étudie, l'histoire de la Science suggère sans cesse des réflexions analogues. Chaque proposition de Statique a été constituée lentement, par une foule de recherches, d'essais, d'hésitations, de discussions, de contradictions. En cette multitude d'efforts, aucune tentative n'a été vaine ; toutes ont contribué au résultat ; chacune a joué son rôle, prépondérant ou secondaire, dans la formation de la doctrine définitive ; l'erreur même a été féconde ; les idées, fausses jusqu'à l'étrangeté, de Beaugrand et de Fermat ont contraint les géomètres à passer au crible la théorie du centre de gravité, à séparer les vérités précieuses des inexactitudes auxquelles elles se trouvaient mêlées.

Et cependant, tandis que tous ces efforts contribuaient à l'avancement d'une science que nous contemplons aujourd'hui dans la plénitude de son achèvement, nul de ceux qui ont produit ces efforts ne soupçonnait la grandeur ni la forme du monument qu'il construisait. Jordanus ne savait assurément pas, en justifiant la loi d'équilibre du levier droit, qu'il postulait un principe capable de porter toute la Statique. Ni Bernoulli, ni Lagrange ne pouvaient deviner que leur méthode des déplacements virtuels serait, un jour, admirablement propre à traiter de l'équilibre électrique et de l'équilibre chimique ; ils ne pouvaient prévoir Gibbs, bien qu'ils en fussent les précurseurs. Maçons habiles à tailler une pierre et à la cimenter,

ils travaillaient à un monument dont l'architecte ne leur avait pas révélé le plan.

Comment tous ces efforts auraient-ils pu concourir exactement à la réalisation d'un plan inconnu des manœuvres, si ce plan n'avait préexisté, clairement aperçu, en l'imagination d'un architecte, et si cet architecte n'avait eu le pouvoir d'orienter et de coordonner le labeur des maçons ? Le développement de la Statique nous manifeste, autant et plus encore que le développement d'un être vivant, l'influence d'une idée directrice. Au travers des faits complexes qui composent ce développement, nous percevons l'action continue d'une Sagesse qui prévoit la forme idéale vers laquelle la Science doit tendre et d'une Puissance qui fait converger vers ce but les efforts de tous les penseurs ; en un mot, nous y reconnaissons l'œuvre d'une Providence.

Bordeaux, 26 octobre 1905.

NOTES

A.

Sur l'axiome d'Aristote

Au Chapitre I de cet ouvrage (Tome I, pp. 6-7), nous avons regardé le principe des vitesses virtuelles, tel qu'Aristote, en ses *Questions mécaniques* l'applique à la théorie du levier, comme un corollaire de cet axiome péripatéticien : La même puissance qui meut un certain poids avec une certaine vitesse peut aussi mouvoir un poids k fois plus grand, mais avec une vitesse k fois moindre.

De cet axiome, nous avons donné un énoncé emprunté au *De Cœlo ;* en voici un autre, qui se trouve en ce cinquième Chapitre du VII[e] livre de la *Physique*, où le Stagirite formule les principes de sa Dynamique :

“ Si le moteur est α, le corps mû β, la longueur parcourue γ et le temps employé à la parcourir δ, alors une même puissance, savoir la puissance α, mouvra dans le même temps la moitié de β le long d'un parcours double de γ ; elle le mouvra de la longueur γ en un temps moitié moindre que δ ; car la proportionnalité sera ainsi sauvegardée. — Ἐι δὴ, τὸ μὴν Α τὸ κινοῦν, τὸ δὲ Β τὸ κινοῦμενον · ὅσον δὲ κεκίνηθαι μῆκος, τὸ Γ · ἐν ὅσῳ δὲ ὁ χρόνος ἐφ' οὗ Δ. Ἐν δὴ τῷ ἴσῳ χρόνῳ ἡ ἴση δύναμις ἡ ἐφ' ᾧ Α, τὸ ἥμισυ τοῦ Β διπλασίαν τοῦ Γ κινήσει · τὴν δὲ τὸ Γ ἐν τῷ ἡμισει τοῦ Δ. Ὅυτω γὰρ ἀνάλογον ἔσται. „

Au cours d'une étude critique, aussi intéressante que bienveillante, à laquelle il a soumis le tome I de notre ouvrage, M. G. Vailati s'exprime en ces termes (1) au sujet de cette proposition :

“ Il me semble encore moins évident que cette proposition ait

(1) Bolletino di Bibliografia e Storia delle Scienze matematiche, pubblicato per cura di Gino Loria. Anno IX, p. 13, 1906.

un rapport quelconque avec une autre proposition, non moins importante, énoncée par Aristote en ses *Questions mécaniques;* je veux parler de la proposition qui attribue l'équilibre de deux forces appliquées à l'extrémité d'un levier à cette circonstance qu'en un déplacement donné à ce levier, ses extrémités décrivent des arcs inversement proportionnels aux forces qui leur sont appliquées. „

“ Le seul trait commun entre cette proposition et celle que nous avons énoncée auparavant consiste en ce fait que chacune d'elles affirme l'existence d'une proportionnalité inverse entre deux poids (ou deux forces) et deux vitesses. Mais ce trait commun a bien peu d'importance au prix des différences qui les distinguent l'une de l'autre. En la première, il est question des vitesses que *prennent* effectivement, en un même temps, deux graves de poids différents (nous dirions aujourd'hui de *masses* différentes) *sous l'action d'une même force* (à l'exemple de deux sphères de poids différents posées sur un même plan horizontal). En la seconde, au contraire, on considère les vitesses que *prendraient* deux graves, ou les points d'applications de deux forces, qui se feraient équilibre en un mécanisme donné, si l'on dérangeait ce mécanisme de la position pour laquelle l'équilibre subsiste. „

“ On ne peut donc identifier l'une à l'autre ces deux affirmations sans priver chacune d'elles des parties les plus essentielles de sa signification. „

En dépit de cette critique, nous persistons à croire que la méthode des vitesses virtuelles indiquée dans les *Questions mécaniques* peut dériver de l'axiome formulé par Aristote au VIIe livre de la *Physique* et au IIIe livre du *De Cœlo*.

On peut s'en rendre compte de la manière suivante :

Considérons un levier où la puissance est α et où la résistance est β ; cette résistance se trouvant à une certaine distance du point d'appui, supposons que la puissance α la puisse mouvoir et lui faire décrire en un temps δ l'arc γ ; elle pourra également mouvoir le poids $\frac{\beta}{2}$, placé à une distance double du point d'appui, car dans le même temps δ, et le lui fera parcourir l'arc 2γ. Il faut donc la même puissance (ἰσχὺς) pour mouvoir un certain poids, placé à une certaine distance du point d'appui, et pour mouvoir un poids moitié moindre placé à une distance double. De là, on tire aisément la justification de la théorie du levier donnée dans les *Questions mécaniques*.

Or, c'est bien cette justification que semble invoquer Aristote,

lorsqu'il dit à l'appui de sa démonstration : " Ὥστ' ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος πλέον μεταστήσεται τὸ κινοῦν τὸ πλεῖον τοῦ ὑπομοχλίου ἀπέχον. „

Que, d'ailleurs, la méthode des vitesses virtuelles appliquée au levier par l'auteur des *Questions mécaniques* soit un corollaire des lois de Dynamique posées par Aristote au VIIe livre de sa Physique, ce n'est nullement, comme semble le penser M. G. Vailati, une opinion que nous avons imaginée ; cette opinion nous paraît bénéficier du consentement universel de la tradition.

Après avoir commenté ces principes de la Dynamique péripatéticienne, Simplicius ajoute (1) : " C'est en vertu de cette proportionnalité entre le moteur, le mobile et le chemin parcouru qu'Archimède a composé l'instrument destiné à peser et appelé *Charistion* — Ταύτῃ δὲ τῇ ἀναλογίᾳ τοῦ κινοῦντος καὶ τοῦ κινουμένου καὶ τοῦ διαστήματος τὸ σταθμιστικὸν ὄργανον τὸν καλούμενον χαριστίωνα συστήσας ὁ Ἀρχιμήδης... „

C'est bien, en effet, sur les principes de la Dynamique péripatéticienne que Charistion avait fondé la théorie de la balance romaine. Thâbit ibn Kurrah met cette proposition au début de la restitution qu'il a donnée de son écrit :

" Si deux mobiles parcourent deux espaces différents en un même temps, le rapport de l'un de ces espaces à l'autre est le même que le rapport de la puissance qui meut *(virtus motus)* le premier mobile à la puissance qui meut le second. „

" Voici, ajoute Thâbit, un exemple de cette proposition :

" Je considère deux mobiles dont le premier parcourt XXX milles et le second LX milles, en un même temps. Il est connu que la puissance motrice du mobile qui parcourt LX milles est double de la puissance motrice du mobile qui parcourt XXX milles, de même que la longueur de LX milles est double de la longueur de XXX milles. „

" Cette proposition est évidente par elle-même ; entre elle et l'intelligence, il n'y a pas d'intermédiaire. „

Tout aussitôt après cette proposition qu'il répute évidente, Thâbit établit la loi du levier par la méthode des vitesses virtuelles, à peu près comme l'a indiqué l'auteur des *Questions mécaniques* ; pour justifier cette méthode, le commentateur de Charistion invoque la proposition qu'il a formulée en premier

(1) *Simplicii in Aristotelis Physicorum libros quatuor posteriores commentaria* edidit Hermannus Diels ; Berolini, 1895. Commentaria in Physicorum VII, 5, p. 1110.

lieu : “ Nous avons dit précédemment que si deux corps mis en mouvement parcourent en un même temps des espaces différents, la puissance motrice de l'un est à la puissance motrice de l'autre comme l'espace décrit par l'un est à l'espace décrit par l'autre..... La vertu motrice de l'extrémité B du levier est donc à la vertu motrice de l'extrémité A comme les deux chemins que ces points décrivent en un même temps, c'est-à-dire comme l'arc BD est à l'arc AF. „

Thâbit a donc justifié l'emploi de la méthode des vitesses virtuelles en Statique au moyen d'une proposition de Dynamique ; cette proposition pourrait, en langage péripatéticien, se formuler ainsi : Si une certaine puissance (ἰσχὺς ou δύναμις) meut un certain corps, en un certain temps, le long d'un certain chemin, pour mouvoir ce même corps, dans le même temps, le long d'un chemin double, il faut une puissance double.

Cet axiome de Dynamique n'est pas tout à fait identique à celui dont nous avons emprunté au Stagirite deux énoncés différents ; il n'est même pas textuellement formulé parmi les règles que nous lisons au cinquième chapitre du VIIe livre des *Physiques ;* mais il est un corollaire immédiat de deux de ces règles, de celle que nous avons reproduite, et de celle-ci, qui vient peu après : “ La moitié de la puissance fera faire à la moitié du corps mû le même chemin dans le même temps. Soient, en effet, ϵ la moitié de la puissance α, et ζ la moitié du corps mû β. La puissance gardera le même rapport à la charge (βαρύς), en sorte qu'elle lui fera faire le même chemin dans le même temps. — Καὶ ἡ ἡμίσεια ἰσχὺς τὸ ἥμισυ κινήσει ἐν τῷ ἴσῳ χρόνῳ τὸ ἴσον · οἷον τῆς Α δυνάμεως ἔστω ἡμίσεια ἡ τὸ Ε, καὶ τοῦ Β τὸ Ζ ἥμισυ · ὁμοίως δὴ ἔχουσι καὶ ἀνάλογον ἡ ἰσχὺς πρὸς τὸ βαρύς, ὥστε τὸ ἴσον ἐν ἴσῳ χρόνῳ κινήσουσι. „

Ce n'est d'ailleurs pas à Aristote que Thâbit a emprunté l'axiome sur lequel il fonde la méthode des vitesses virtuelles ; la source à laquelle il a puisé est autre, et il a soin de nous la faire connaître : “ Cet ouvrage, dit-il, se relie au livre qui est attribué à Euclide—Hoc autem capitulum innixum est super librum qui nominatur *Liber Euclidis*. „ Par ces mots le grand astronome arabe entend désigner le fragment sur les poids spécifiques intitulé *Liber Euclidis de gravi et levi, et de comparatione corporum ad invicem* (tome I, pp. 67-71).

Ce court fragment, en effet, débute par quelques définitions et axiomes ; en cette suite de propositions, la quatrième, la cin-

quième et la sixième équivalent au postulat que Thâbit a admis; voici quelles sont ces trois propositions :

" On nomme corps égaux en puissance (*virtus*) ceux qui, en des temps égaux, se meuvent de longueurs égales au sein du même air ou de la même eau. „

" Ceux qui parcourent des espaces égaux en des temps différents sont dits différents en puissance *(in fortitudine)*. „

" Et celui qui a la plus grande puissance est celui qui emploie le moins de temps. „

Euclide, d'ailleurs, ou l'auteur, quel qu'il soit, du *Liber de gravi et levi,* ne s'est point contenté de formuler ces postulats, logiquement équivalents au principe invoqué par Thâbit : il en a déduit ce principe qu'il énonce ainsi : " Si en des temps égaux des corps parcourent des espaces inégaux, celui qui parcourt le plus grand espace est de plus grande puissance. „

Mais son objet, en formulant cette proposition, n'est nullement celui que Thâbit recherchera ; il ne s'efforce pas de justifier une méthode de Statique ; il cherche seulement à prouver que les puissances de graves *de même genre* sont entre elles comme les volumes de ces corps. Il résulte de là, si l'on se reporte aux axiomes du début, qu'au sein du même air ou de la même eau, des graves de *même genre* (c'est-à-dire de *même poids spécifique)* tomberont avec des vitesses proportionnelles à leur volume.

Ce corollaire est la conclusion naturelle de ce que nous lisons dans le *Liber de gravi et levi* que les manuscrits attribuent à Euclide ; mais cette conclusion manque aujourd'hui à ce fragment mutilé.

Or cette conclusion est une des lois fondamentales de la Dynamique péripatéticienne ; Aristote, au livre I du *De Cœlo,* la formule en ces termes : " Le rapport que des poids ont entre eux se retrouvent, inversés, dans les durées de leur chute ; si un poids tombe de telle hauteur en tant de temps, un poids double tombe de la même hauteur en un temps moitié moindre. — Καὶ τὴν ἀναλογίαν ἣν τὰ βάρη ἔχει, οἱ χρόνοι ἀνάπαλιν ἕξουσιν, οἷον εἰ τὸ ἥμισυ βάρος ἐν τῷδε, τὸ διπλάσιον ἐν ἡμίσει τούτου. „

La science hellénique et la science arabe se sont donc accordées à voir dans les règles énoncées au VIIe livre des Physiques des principes également propres à servir de fondement à la Dynamique et à justifier, en Statique, la méthode des vitesses virtuelles.

Parmi les mécaniciens modernes, il en est plusieurs qui ont professé la même opinion.

Bernardino Baldi, après avoir reproduit le passage où Aristote formule la loi du levier, ajoute (1) :

“ Cette assertion est assurément vraie et très connue. Mais que cet admirable effet ait pour cause la vitesse qui résulte de la longueur du bras de levier, nous ne saurions l'assurer. Qu'est-ce, en effet, que la vitesse en une chose immobile ? Or le levier et la balance demeurent immobiles lorsqu'ils se trouvent en équilibre, et néanmoins une petite puissance soutient alors un grand poids. „

“ On répondra à cela que si une vitesse plus grande n'est pas en acte dans le plus grand bras, elle s'y trouve au moins en puissance. Mais, je vous le demande, en une chose qui est en acte, de quelle importance peut être ce qui n'est qu'en puissance ? Or la force qui soutient, soutient en acte. „

Ces critiques adressées à la méthode des vitesses virtuelles ressemblent fort à celles que Stevin a formulées peu d'années après la rédaction des exercices de Baldi. Jean de Guevara cherche à les réfuter (2). Pour ce faire, il recourt à l'axiome de la Dynamique péripatéticienne, selon lequel un même objet, mû successivement par des puissances différentes, prend des vitesses proportionnelles à ces puissances :

“ Dans le mouvement local, dit-il, la vitesse implique ou suppose toujours la facilité ; une plus grande vitesse ou une plus grande facilité du mouvement indique nécessairement une plus grande gravité ou une plus grande puissance motrice, comme on le reconnaît aisément en examinant soit les mouvements naturels, soit les mouvements violents. Plus un corps est pesant, plus il descend rapidement, s'il n'en est empêché ; des projectiles se meuvent d'autant plus vite dans un milieu donné, que l'instrument qui les lance leur a donné une plus grande impulsion ; plus la force motrice des animaux est grande, plus vite ils marchent, plus rapide aussi est le mouvement qu'ils peuvent imprimer à des corps graves, pour une même disposition des instruments

(1) Bernardini Baldi Urbinatis, Guastallæ abbatis, *In mechanica Aristotelis problemata exercitationes ;* adjecta succincta narratione de autoris vita et scriptis ; Moguntiæ, typis et sumptibus viduæ Joannis Albini, MDCXXI ; p. 36.

(2) Joannis de Guevara, cler. reg. min., *In Aristotelis mechanicas commentarii, una cum additionibus quibusdam ad eandem materiam pertinentibus ;* Romæ, apud Jacobum Mascardum, MDCXXVII ; p. 89.

qu'ils actionnent. Par cela donc, en la question examinée, que l'extrémité du grand bras de levier se meut plus rapidement, elle se trouve douée d'une plus puissante gravité *in hoc situ*; elle indique, par cette plus grande vitesse, qu'elle est douée d'une plus grande force motrice, et qu'elle est capable de soutenir un plus grand poids, lors même qu'elle ne se mouvrait pas. „

Mais il est un mécanicien qui très soigneusement, très explicitement, et en maintes circonstances a justifié la méthode des vitesses virtuelles au moyen de cet axiome de Dynamique péripatéticienne : La puissance qui fait décrire un chemin donné, dans un certain temps, à un certain poids, peut faire décrire le même chemin à un poids k fois plus grand, mais dans un temps qui sera aussi k fois plus grand. Ce mécanicien, c'est Galilée.

C'est, en effet, au moyen de cet axiome, sur lequel il insiste longuement, que Galilée introduit (1) sa notion de *momento*, pierre angulaire de la Statique qu'il expose au *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua*, au traité *Della Scienza meccanica*, aux *Discorsi*; cette notion, toute Aristotélicienne, correspond fort exactement, dans bien des cas, à ce que le Stagirite nomme ἰσχὺς ou δύναμις ; et d'ailleurs, en la définissant pour la première fois, Galilée a soin de citer les *Questions mécaniques* (2). Il est donc clair que, pour le grand géomètre de Pise, la Statique exposée en ces *Questions* se relie étroitement à la Dynamique que formule le VIIe livre des *Physiques*.

Tous les contemporains de Galilée pensent de même.

Mersenne, pour défendre la méthode des vitesses virtuelles contre les attaques de Descartes, invoque (3) cet axiome : Si une force lève un poids à une certaine hauteur, dans un certain temps, une force double lève le même poids à une hauteur double, dans le même temps. Et c'est précisément de cet axiome que Descartes conteste l'exactitude (4) lorsqu'il veut faire prévaloir le principe des travaux virtuels. Les jésuites péripatéticiens, tels que le P. Honoré Fabri (5), font de la Statique de Galilée un corollaire de la Dynamique d'Aristote. En un mot, la plupart des mécaniciens du XVIIe siècle, à l'instar de Simplicius et de Thâbit ibn Kurrah, admettent l'exactitude de cette proposition : La méthode des vitesses virtuelles, telle qu'elle apparaît en ce que

(1) Voir : Tome I, pp. 248-261.
(2) Voir : Tome I, p. 249.
(3) Voir : Tome I, p. 345.
(4) Voir : Tome I, pp. 342-346.
(5) Voir : Tome II, p. 198.

la IVe *Question mécanique* dit du levier, tire sa force des règles dynamiques posées au 5e Chapitre du VIIe livre des *Physiques*.

A cette opinion, toutefois, il nous semblerait légitime d'apporter une atténuation ; les règles dont il s'agit, en proclamant que la vitesse avec laquelle un poids se meut est proportionnelle à la puissance qui le meut, rendent assurément compte de la théorie du levier telle que l'expose Thâbit ibn Kurrah, restaurant l'écrit de Charistion ; mais la théorie de la balance et du levier exposée aux *Questions mécaniques* nous semble trop compliquée pour être complètement expliquée par ces principes ; certaines considérations qui la rendent bien obscure à nos modernes intelligences, s'éclairent par une plus exacte connaissance de la Dynamique péripatéticienne.

Aucun passage n'est plus propre à nous révéler les véritables principes de cette Dynamique, à nous montrer à quel point ces principes diffèrent de notre Science du mouvement, que ce Chapitre du Livre IV des *Physiques* où Aristote s'efforce de prouver l'impossibilité du vide.

En tout corps qui se meut, nous avons accoutumé de distinguer deux éléments : la *force* qui meut et la *masse* qui est mue. Rien de semblable en la Physique péripatéticienne ; aucune des notions que l'on y rencontre n'a la moindre analogie avec notre moderne notion de masse ; tout corps mû est nécessairement soumis à *deux forces*, une *puissance* et une *résistance* ; sans puissance, il ne se mouvrait pas ; sans résistance, son mouvement s'accomplirait en un instant ; la vitesse avec laquelle le corps se meut dépend à la fois de la grandeur de la puissance et de la grandeur de la résistance.

Par exemple, dans les mouvements naturels les plus simples, la puissance est représentée par la pesanteur ou la légèreté ; la résistance provient du milieu où se produit le mouvement. " Nous avons vu que la vitesse avec laquelle se meut un même poids ou un même corps pouvait croître par deux causes : elle peut croître par suite du changement du milieu au sein duquel se fait le mouvement, ce milieu pouvant être l'eau, ou la terre, ou l'air ; elle peut croître aussi, toutes choses égales d'ailleurs, par suite d'un changement du mobile, tel qu'un accroissement de gravité ou de légèreté. — Ὁρῶμεν γὰρ τὸ αὐτὸ βάρος καὶ σῶμα θᾶττον φερόμενον διὰ δύο αἰτίας, ἢ τῷ διαφέρειν τὸ δι' οὗ, οἷον δι' ὕδατος ἢ γῆς ἢ ἀέρος, ἢ τῷ διαφέρειν τὸ φερόμενον, ἐὰν τἆλλα ταὐτὰ ὑπαρχῃ, διὰ τὴν ὑπεροχὴν τοῦ βάρους ἢ τῆς κουφότητος. „

La vitesse du mobile doit varier dans le même sens que la

puissance, en sens inverse de la résistance ; suivant quelles lois ? Selon une remarque fort juste de M. G. Milhaud (1), Aristote, mathématicien médiocre, n'a guère conçu d'autre forme de fonction que la proportionnalité ; il supposera donc, sans d'ailleurs l'énoncer explicitement, que la vitesse du mobile est proportionnelle à la puissance et en raison inverse de la résistance. Une telle loi est inadmissible, puisque la vitesse doit s'annuler lorsque la puissance est égale à la résistance ; la remarque n'échappera pas aux *Calculatores* du XIVe et du XVe siècles ; elle provoquera entre eux bien des débats ; elle ne semble pas, en tous cas, avoir sollicité l'esprit d'Aristote.

Le Stagirite va plus loin ; il n'hésite pas à admettre que la résistance d'un milieu est proportionnelle à la densité de ce milieu ; en sorte que la vitesse de chute d'un grave au sein d'un milieu est inversement proportionnelle à la densité de ce milieu.

“ Supposons que le corps α se meuve au sein du milieu β en un temps γ, et au sein du milieu δ, qui est plus subtil que β, en un temps ε ; le chemin parcouru est supposé être le même au sein du milieu β et au sein du milieu δ ; ces mouvements ont lieu selon le rapport des milieux résistants. Si, par exemple, le milieu β est de l'eau et le milieu δ de l'air, autant l'air est plus subtil et plus incorporel que l'eau, autant le mouvement de α sera plus rapide au travers du milieu δ qu'au travers du milieu β. Le rapport qui différencie l'air de l'eau sera donc aussi le rapport de la vitesse à la vitesse. En sorte que si l'air est deux fois plus subtil que l'eau, le mobile mettra deux fois plus de temps à faire le même chemin au sein de β qu'au sein de δ, et le temps γ sera double du temps ε. Toujours le mobile sera mû d'autant plus vite que le milieu qu'il traverse sera plus incorporel, moins résistant et plus facile à diviser. — Τὸ δὴ ἐφ' οὗ Α οἰσθήσεται διὰ τοῦ Β τὸν ἐφ' ᾧ Γ χρόνον, διὰ δὲ τοῦ Δ λεπτομεροῦς ὄντος τὸν ἐφ' ᾧ Ε, εἰ ἴσον τὸ μῆκος τὸ τοῦ Β τῷ Δ, κατὰ τὴν ἀναλογίαν τοῦ ἐμποδίζοντος σώματος. Ἔστω γὰρ τὸ μὲν Β ὕδωρ, τὸ δὲ Δ ἀήρ · ὅσῳ δὴ λεπτότερον ἀὴρ ὕδατος καὶ ἀσωματώτερον, τοσουτῳ θᾶττον τὸ Α διὰ τοῦ Δ οἰσθήσεται ἢ διὰ τοῦ Β. Ἐχέτω δὴ τὸν αὐτὸν λόγον ὅνπερ διέστηκεν ἀὴρ πρὸς ὕδωρ, τὸ τάχος πρὸς τὸ τάχος. Ὥστ' εἰ διπλασίως λεπτόν, ἐν διπλασίῳ χρόνῳ τὴν τὸ Β δίεισιν ἢ τὴν τὸ Δ, καὶ ἔσται ὁ ἐφ' ᾧ Γ κρόνος διπλάσιος

(1) G. Milhaud, *Études sur la pensée scientifique chez les Grecs et chez les Modernes ;* Paris, 1906, pp. 112-117.

τοῦ ἐφ᾽ ᾧ Ε. Καὶ ἀεὶ δὴ ὅσῳ ἂν ᾖ ἀσωματώτερον καὶ ἧττον ἐμποδιστικὸν καὶ εὐδιαιρετώτερον δι᾽ οὗ φέρεται, θᾶττον οἰσθήσεται. „

La Dynamique, si contraire à nos idées actuelles, que ce passage invoque, nous paraît être celle à laquelle il faut recourir si l'on veut expliquer les raisonnements, bien obscurs, que renferme la seconde *Question mécanique*.

Nous avons donné (1) une analyse succincte de ces raisonnements. Nous avons vu Aristote faire l'analyse cinématique du mouvement circulaire et en tirer cette conclusion : Lorsqu'un point parcourt la moitié inférieure d'une circonférence verticale, il est, à la fois, porté en bas selon sa nature, et vers l'intérieur du cercle contre sa nature.

Qu'à ces deux composantes de la vitesse l'auteur des *Questions mécaniques* ait fait correspondre deux forces qui leur soient proportionnelles, cela transparaît dans les expressions mêmes dont il fait usage : le point mobile *est retenu de force* (κρατεῖται) par le centre.

Ces deux forces, d'ailleurs, jouent le rôle que jouaient la puissance et la résistance en la chute d'un grave au sein d'un milieu ; la force qui correspond au mouvement selon la nature joue le rôle que jouait la pesanteur en cette chute, tandis que la violence exercée par le centre est comparable à la résistance du milieu.

Pour une même valeur de la première force, la vitesse du mobile sera d'autant plus petite que l'action résistante sera plus grande. “ Si de deux mobiles mûs par la même puissance, l'un éprouve une plus grande résistance et l'autre une moindre, il est juste que celui qui est le plus repoussé se meuve plus lentement que celui qui est le moins repoussé. — Ἐὰν δὲ δυοῖν φερομένοιν ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος, τὸ μὲν ἐκκρούοιτο πλεῖον, τὸ δὲ ἔλαττον, εὔλογον βραδύτερον κινηθεῖναι τὸ πλεῖον ἐκκρουόμενον τοῦ ἔλαττον ἐκκρουομένου. „

Or, lorsque le mobile descend d'une hauteur déterminée le long d'un cercle, il prend un mouvement contre nature d'autant plus grand que le cercle est plus petit “ Μείζω δ᾽ ἀεὶ τὴν παρὰ φύσιν ἡ ἐλάττων φέρεται. „ — “ Le rapport n'est pas le même, en ces deux cercles, entre le mouvement naturel et le mouvement contre nature. Par cette raison, sous l'action d'une même puissance, le mobile le plus éloigné du centre se mouvra plus rapidement ; cela résulte évidemment de ce qui a été dit.— Ὀυχ

(1) Voir : Tome I, pp. 108-110.

ὁμοίως ἔσται οὐδὲ ἀνάλογον ἐν ἀμφοῖν τὸ κατὰ φύσιν πρὸς τὸ παρὰ φύσιν. Δι ἣν μὲν τοίνυν αἰτίαν ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος φέρεται θᾶττον τὸ πλέον ἀπέχον τοῦ κέντρου σημεῖον δῆλον κατὰ τῶν ἐιρημένων. „

L'analyse que nous venons d'exposer reproduit, croyons-nous, ce qu'il y a de tout à fait essentiel en la pensée de l'auteur des *Questions mécaniques*. Elles nous montre comment il est parvenu à cette proposition : Il faut une moindre puissance pour mouvoir un poids avec une vitesse donnée lorsque le mouvement a lieu sur un grand cercle que lorsqu'il décrit une circonférence plus petite. En l'écrit de Charistion, cette proposition est déduite très simplement des règles posées au VII[e] livre des *Physiques* et au traité *De gravi et levi* attribué à Euclide. Cette forme simple de la méthode des vitesses virtuelles est insinuée en la quatrième *Question mécanique*, qui traite du levier, et en la quatorzième, qui traite des treuils et cabestans ; mais en aucune question, elle n'est explicitement formulée. C'est d'une manière plus compliquée que la Statique s'est offerte à la pensée de l'auteur des *Questions mécaniques* ; mais, à coup sûr, elle s'est présentée à lui comme une conséquence de la Dynamique péripatéticienne.

B.

Sur Charistion et sur le ΠΕΡΙ ΖΥΓΩΝ d'Archimède.

Après avoir développé (1) les raisons qui nous font regarder le *Liber Charastonis, editus a Tebit filio Coræ* comme l'œuvre d'un géomètre du nom de Charistion, nous avons recherché s'il était possible de trouver, en d'autres écrits de la Science hellénique, quelque mention de ce géomètre.

Nous avions pensé, en particulier, que Charistion pouvait être identique à Hériston, fils de Ptolémée, auquel son père a dédié le *Liber diversarum rerum*.

Mais M. Eneström nous a fait observer (2) que cet ouvrage était vraisemblablement apocryphe ; que le personnage auquel il est dédié, nommé Hériston par l'édition du *Liber diversarum rerum* qui fut donnée à Venise en 1509, était appelé Ariston en certains manuscrits; qu'Ariston était le nom du personnage, d'ailleurs

(1) Voir : Tome I, Chapitre IV, 2, pp. 79-93.
(2) Voir : Tome I, note A, p. 353.

inconnu, auquel Philon de Byzance adressait tous ses écrits; que l'auteur de l'ouvrage apocryphe en avait fait un fils de Ptolémée, ignorant à quel point Ptolémée était postérieur à Philon.

M. Carra de Vaux, à qui nous devons la publication, d'après la traduction Arabe, du *Livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques* de Philon de Byzance, nous a fait l'honneur de nous écrire au sujet de cette question; de sa lettre, nous détachons le passage suivant :

" Il y a un petit détail que je me permets de vous signaler : Le texte arabe des *Pneumatiques* de Philon de Byzance présente, pour le nom d'Ariston, la variante Mariston; or cet M initial est intéressant parce qu'il peut être très aisément une faute pour H ou, à peine moins facilement, une faute pour K :

ما	حا	كا
mâ	hâ	kâ

La confusion de l'*m* à l'*h* ou au *k* est connue en matière d'écriture arabe ; elle expliquerait ici l'ensemble des formes Mariston, Hériston, Karistion. „

Cette remarque de M. Carra de Vaux ouvre le champ à une hypothèse nouvelle ; Charistion, auteur du *Livre sur la balance* qu'a restauré Thâbit ibn Kurrah, serait ce contemporain et cet ami de Philon de Byzance, auquel celui-ci a dédié tous ses ouvrages ; le nom d'Ariston serait, comme celui de Karaston, une déformation arabe du nom grec Χαριστίων.

Du reste, cette déformation a donné des résultats très variables; dans les manuscrits arabes des œuvres de Philon, on trouve (1) les formes Mouristos et Ristoun ; dans les manuscrits latins, on lit (2) : " Marzotom „ ou " mi Argutom. „

Philon de Byzance vivait, pense-t-on, au deuxième siècle avant Jésus-Christ ; nous serions donc amenés à reculer jusqu'à cette époque la vie de Charistion et la composition de son ouvrage sur la balance.

Cette ancienneté de l'œuvre de Charistion expliquerait que son ouvrage ait pu être attribué à Archimède.

Nous avons déjà (3) donné cette citation de Simplicius : " Archimède, en se fondant sur cette proportionnalité entre la

(1) *Le Livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques*, par Philon de Byzance, édité et traduit par le Baron Carra de Vaux; Paris, 1902. Introduction, p. 6 et p. 9.

(2) *Ibid.*, p. 9.

(3) Voir : Tome I, p. 86 et tome II, p. 293.

puissance motrice, le poids mû et l'espace parcouru, avait composé un instrument propre à peser qui est nommé *charistion* „.

De cette citation, on peut rapprocher un passage de Pappus (1) : “ Archimède, dans son livre *Sur les balances*, Philon et Héron, dans leurs *Mécaniques*, ont montré que les cercles plus petits étaient moins puissants que les cercles plus grands lorsqu'ils sont engendrés les uns et les autres par rotation autour d'un même centre. — Ἀπεδείχθη γὰρ ἐν τῷ Περὶ ζυγῶν Ἀρχιμήδους καὶ τοῖς Φίλωνος καὶ Ἥρωνος μηχανικοῖς, ὅτι οἱ μείζονες κύκλοι κατακρατοῦσιν τῶν ἐλασσόνων κύκλων, ὅταν περὶ τὸ αὐτὸ κέντρον ἡ κύλισις αὐτῶν γίνηται. „

Ces passages de Simplicius et de Pappus contiennent des affirmations qu'il est bien difficile d'admettre.

Tout d'abord, contrairement à l'assertion de Simplicius, Archimède ne paraît pas avoir inventé la balance romaine, à laquelle est déjà consacrée la XXI[e] *Question mécanique* d'Aristote.

On pourrait néanmoins supposer que le grand Syracusain eût écrit un livre Περὶ ζυγῶν destiné à donner la théorie de cet instrument ; mais il serait de toute invraisemblance qu'il eût été chercher dans la méthode des vitesses virtuelles le principe de cette théorie, alors qu'il a fondé ses recherches intitulées Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν sur de tout autres hypothèses, et que les théorèmes obtenus en ces recherches lui pouvaient fournir aisément les lois de la balance romaine.

Ces assertions de Pappus et de Simplicius, si invraisemblables lorsqu'on les rapporte à Archimède, conviennent très exactement, au contraire, à l'écrit de Charistion ; et, tout aussitôt, une supposition vient à l'esprit : Le traité Περὶ ζυγῶν qu'on lisait à Alexandrie et à Athènes aux temps de Pappus (IV[e] siècle ap. J.-C.) et de Simplicius (VI[e] siècle ap. J.-C.), et que l'on attribuait à Archimède ne serait autre que le livre *De la balance* composé par Charistion.

Cette hypothèse n'aurait, d'ailleurs, rien d'invraisemblable ; on avait fini par attribuer à Archimède, dont la gloire s'était auréolée d'une véritable légende, une foule d'écrits dont il n'était nullement l'auteur : c'est ainsi qu'on mettait sous son nom un traité *Des clepsydres* dédié à Ariston et composé sans aucun doute par Philon de Byzance (2).

(1) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* edidit Fridericus Hultsch. Volumen III, p. 1068.

(2) *Le Livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques*

Ajoutons que d'autres indications relatives au Περὶ ζυγῶν d'Archimède, indications qui semblent, elles, vraiment applicables au traité perdu du grand Syracusain, paraissent donner de cet ouvrage un signalement qui ne concorde nullement avec ce qu'en disent Pappus et Simplicius.

Ces précieuses indications se trouvent dans le traité sur *Les mécaniques* composé par Héron d'Alexandrie (1).

Héron d'Alexandrie formule, en faisant usage de la notion de moment d'un poids par rapport au point de suspension, la condition d'équilibre d'une balance dont le fléau n'est pas rectiligne (2) ; il ajoute : " C'est ce qu'a démontré Archimède dans son livre *Sur les leviers* „. Ce passage est, d'ailleurs, suivi de la solution d'un autre problème à l'aide de cette même notion de moment ; il s'agit de l'équilibre de deux poids suspendus en deux points de la circonférence d'une roue mobile autour de son centre ; ce problème est peut être extrait du même ouvrage *Sur les leviers*.

Ailleurs (3), Héron traite de l'équilibre du treuil. Ce qu'il en dit est précédé de ces mots, qui annoncent l'importance du problème posé : " Quant à la cause qui fait que chacun de ces instruments [les cinq machines simples] meut des poids considérables avec une très faible puissance, nous allons maintenant en parler comme il suit. „ De même, après avoir résolu ce problème fondamental, il ajoute : " Nous allons maintenant appliquer aux cinq machines simples la démonstration que nous venons de faire sur l'exemple du cercle ; après cette analyse, leur exposition aura acquis toute sa clarté. Les anciens la faisaient toujours précéder de ce lemme. „

Ce lemme essentiel, Héron le démontre simplement par comparaison entre le treuil et une balance dont le fléau horizontal aurait des bras inégaux ; il ajoute : " Archimède a déjà donné cette proposition dans son livre *Sur l'équilibre entre les poids*. „

Des deux citations d'Archimède que nous venons de rappor-

par Philon de Byzance, édité et traduit par le Baron Carra de Vaux ; Paris, 1902. — Introduction, pp. 5 et 14.

(1) *Les Mécaniques ou l'Élévateur* de Héron d'Alexandrie, publiées pour la première fois sur la version Arabe de Qostâ ibn Lûkâ et traduites en français par M. le Baron Carra de Vaux. Extrait du Journal Asiatique. Paris, 1894. — Voir, en particulier, les pp. 25-29 de la très remarquable Introduction composée par M. le Baron Carra de Vaux.

(2) *Les Mécaniques ou l'Élévateur* de Héron d'Alexandrie, pp. 87-90.

(3) *Id.*, p. 106.

ter, la première se rapporte assurément à un ouvrage aujourd'hui perdu ; rien n'empêche de supposer que cet ouvrage, que Héron nomme le livre *Sur les leviers*, ait été intitulé Περὶ ζυγῶν.

Contrairement à l'opinion émise par M. Carra de Vaux (1), nous ne pensons pas que la seconde citation ait trait au même ouvrage ; en cette citation, en effet, il est simplement question de la règle selon laquelle deux poids pendus à un fléau de balance horizontal se font équilibre lorsqu'ils sont inversement proportionnels aux bras du fléau ; or cette proposition a été démontrée par Archimède en son traité bien connu Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν ἢ κέντρα βαρῶν ἐπιπέδων ; c'est donc cet écrit que Héron nommerait le livre *Sur l'équilibre des poids*, nom qui semble, en effet, avoir rapport au mot ἰσορροπικῶν.

Une autre citation se rapporte évidemment au même ouvrage d'Archimède ; la voici (2) :

" Lorsqu'un corps grave fait équilibre à un autre corps grave et que tous deux sont suspendus à deux points d'une ligne partagée en deux et reposant sur le point de division, cette ligne est parallèle à l'horizon, si le rapport des grandeurs des poids est égal à l'inverse du rapport des distances respectives de leurs points de suspension au point de division de la ligne. Les poids suspendus de la sorte se font équilibre sans inclinaison du fléau; c'est ce qu'Archimède a démontré dans ses livres *Sur les équilibres des figures où sont employés des leviers.* "

La proposition dont Héron donne ici l'énoncé est le théorème de Mécanique qui supporte toute la théorie exposée aux Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν : d'ailleurs, la première partie du titre, *Sur les équilibres des figures,* peut passer pour une traduction assez fidèle du titre grec. Mais le titre arabe est complété par ces mots : *où sont employés des leviers.* Si l'on observe qu'en un autre passage, le titre *Sur les leviers* est vraisemblablement appliqué au Περὶ ζυγῶν, on peut se demander si Héron ne réunit pas ici, en une mention unique, les livres *Sur les équilibres des figures* (Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν) et *Sur les leviers* (Περὶ ζυγῶν).

Or, la citation dont nous venons de parler est précédée et suivie d'autres emprunts faits, de l'aveu même de Héron, à Archimède ; ces emprunts ne proviennent assurément plus du traité Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν ; ils seraient donc tirés du Περὶ ζυγῶν. Arrêtons-nous un instant à les commenter; ils en valent la peine.

(1) *Les Mécaniques ou l'Élévateur* de Héron d'Alexandrie, p. 28.
(2) *Id.*, p. 74.

Ils concernent le *centre de gravité,* que Héron nomme parfois de la sorte et, plus souvent, *centre d'inclinaison,* ou encore *point de suspension.*

En voici d'abord la définition (p. 73) :

" Le point de suspension est un point quelconque sur le corps ou sur la figure non corporelle, tel que lorsque l'objet suspendu est suspendu à ce point, ses portions se font équilibre, c'est-à-dire qu'il n'oscille ni ne s'incline. „

A la suite de cette définition, Héron ajoute : " Archimède dit que les corps graves peuvent être en équilibre sans inclinaison autour d'une ligne ou autour d'un point ; autour d'une ligne, lorsque le corps reposant sur deux points de cette ligne, il ne penche d'aucun côté ; alors le plan perpendiculaire à l'horizon, mené par cette ligne, en quelque endroit qu'on la transporte, demeure perpendiculaire et ne s'incline pas autour d'elle... Quant à l'équilibre autour d'un point, il a lieu lorsque, le corps y étant suspendu, quel que soit le mouvement du point, ses parties s'équivalent entre elles. „

Un peu plus loin (p. 75), Héron démontre, sans dire si ses raisonnements sont d'Archimède, deux théorèmes que l'on peut énoncer ainsi :

Si l'on suspend successivement un corps pesant par divers fils, tous ces fils, prolongés se rencontrent au centre de gravité du corps.

Si l'on observe successivement l'équilibre du corps autour de divers axes, et que l'on marque chaque fois le plan vertical qui passe par cet axe, tous ces plans vont passer par le centre de gravité du corps.

Les divers passages dont nous venons de parler sont précédés de celui-ci (p. 73) : " Cette question a été exposée par Archimède avec des développements suffisants. Il faut savoir à ce sujet que Poseidonios, qui était un philosophe Stoïcien (1), a donné du centre de gravité une définition physique. Il a dit que le centre de gravité ou d'inclinaison est un point tel que, lorsque le poids est suspendu par ce point, il est divisé en deux portions équivalentes. En raison de quoi Archimède et les mécaniciens qui l'ont imité ont scindé cette définition, et ils ont distingué le point de suspension du centre d'inclinaison. „

(1) Le nom de Poseidonios et le qualificatif de philosophe Stoïcien sont d'une lecture douteuse ; d'autant que le personnage ici mentionné semble donné par Héron comme antérieur à Archimède et que Posidonius lui est postérieur.

La lecture de ces renseignements un peu désordonnés nous semble conduire aux conclusions suivantes :

Le personnage désigné par le nom de Poseidonios a donné une définition mécanique du centre de gravité : Un point tel que le corps, suspendu par ce point, demeure en équilibre indifférent.

Archimède a donné deux propositions, l'une concernant l'équilibre d'un corps suspendu par un axe, l'autre concernant l'équilibre d'un corps suspendu par un point autre que le centre de gravité, et ces deux propositions donnent deux sortes de déterminations du centre de gravité.

Ces propositions étaient établies dans le traité Περὶ Ζυγῶν.

Or une circonstance accroît singulièrement l'intérêt de ces indications fournies par Héron et en contrôle l'exactitude. Archimède lui-même nous apprend qu'il avait soumis le centre de gravité à de semblables considérations. En son traité *Sur la quadrature de la parabole,* il s'exprime en ces termes (1) : " Tout corps suspendu, quel que soit son point de suspension, se place en équilibre de telle sorte que le point de suspension et le centre de gravité soient sur une même verticale. Cela a été démontré. „ Nous trouvons bien là la distinction entre le point de suspension et le centre d'inclinaison dont a parlé Héron d'Alexandrie.

Maintenant que nous possédons au sujet du Περὶ Ζυγῶν d'Archimède quelques renseignements précis, nous pouvons revenir à la lecture des *Collections mathématiques* de Pappus et émettre cette assertion : Le traité Περὶ Ζυγῶν était déjà perdu, sans doute, à l'époque où Pappus écrivait, car cet auteur ne semble pas l'avoir jamais eu en mains.

En son livre VIII, Pappus reprend, sous une forme plus précise, les considérations sur le centre de gravité que Héron a empruntées à Poseidonios et à Archimède ; puis il ajoute (2) que celui qui voudra étudier les éléments de la *doctrine centrobaryque* (κεντροβαρικὴ πραγματεία) les trouvera dans les livres *Sur les corps qui se trouvent en équilibre* d'Archimède (Τοῖς Ἀρχιμήδους περὶ ἰσορροπιῶν ἐντυχὼν) et dans *Les Mécaniques* de Héron (Τοῖς Ἥρωνος μηχανικοῖς). Au lieu de citer le traité Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν, auquel il n'a point emprunté l'exposé qu'il vient de donner, pourquoi Pappus n'eût-il point citer le

(1) Archimedis *Opera omnia*, éd. Heiberg, t. II, p. 306.

(2) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* edidit Fridericus Hultsch ; Volumen III ; Berolini, 1878. Lib. VIII, prop. 2 ; pp. 1034-1035.

Περὶ ζυγῶν, source première de cet exposé, s'il l'avait lu directement dans cet écrit d'Archimède, et non point seulement dans l'aperçu que Héron en a tracé ?

Il est vrai que Pappus cite le Περὶ ζυγῶν en un passage que nous avons reproduit plus haut. Mais la lecture de ce passage ne fait que confirmer notre conclusion. Pappus y dit en effet ceci :

“ Archimède, dans son livre Περὶ ζυγῶν, Philon et Héron, dans leurs *Mécaniques,* ont montré que les cercles plus petits étaient moins puissants que les cercles plus grands lorsqu'ils sont engendrés les uns et les autres par rotation autour d'un même centre. „

Quel est le passage de Héron qui se trouve visé en cette phrase ? Sans aucun doute, cette théorie du treuil dont le mécanicien Alexandrin fait la pierre angulaire de la théorie des machines simples. Pappus nous apprend que Philon de Byzance avait donné une théorie toute semblable ; cela s'accorde fort bien avec ce que Héron nous en dit. Celui-ci nous apprend, en effet, que “ *les anciens* plaçaient toujours ce lemme „ au début de leur théorie des machines simples. Il dit aussi (pp. 111-112) : “ Le treuil n'est pas autre chose que deux cercles concentriques, l'un petit, c'est le cercle de l'arbre, l'autre grand, c'est le cercle du tambour. Il est juste de suspendre le poids à l'axe et la force motrice au tambour, parce que, de cette façon, une faible puissance l'emporte sur un grand poids. *Ceux qui nous ont précédé* l'ont dit déjà ; nous ne l'avons répété que pour que notre livre soit complet, et pour que la composition en soit bien ordonnée. „ Ces allusions aux *anciens*, à *ceux qui ont précédé Héron d'Alexandrie,* conviennent fort bien à Philon de Byzance et à son École.

En ce passage, auquel se rapporte si exactement la citation de Pappus, Héron d'Alexandrie nomme Archimède ; mais ce qu'il attribue à Archimède, nous l'avons vu, ce n'est pas la théorie du treuil, ce ne sont pas les remarques sur les puissances de cercles inégaux, mais seulement la loi d'équilibre du levier ; l'ouvrage qu'il cite, ce n'est pas le Περὶ ζυγῶν, mais le livre *Sur l'équilibre des poids,* c'est-à-dire le traité Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν, le traité qu'en un autre endroit, Pappus intitule *Sur les corps qui se trouvent en équilibre,* Περὶ ἰσορροπιῶν εντυχῶν. Il serait étrange qu'en ce passage Héron n'eût pas cité le livre *Sur les leviers,* Περὶ ζυγῶν, qu'il connaît, qu'il cite ailleurs par deux fois, auquel il emprunte les propriétés fondamentales du centre de gravité,

si les propriétés mécaniques de deux cercles concentriques s'y fussent trouvées exposées.

Il semble donc bien que la théorie du treuil fût étrangère au Περὶ ζυγῶν d'Archimède. Pappus, qui n'a pas cité cet écrit alors qu'il exposait une théorie dont il est la source, le cite à propos d'un problème qui, vraisemblablement, ne s'y trouve pas traité. N'est-il pas naturel d'en conclure qu'il ne connaît pas cet ouvrage du Syracusain, si ce n'est par ouï-dire, et qu'on ne le lisait plus, de son temps, à Alexandrie ?

Il semble, d'ailleurs, qu'au temps de Pappus, certains livres d'Archimède ne fussent plus connus que de réputation à Alexandrie ; Thurot en a déjà fait la remarque (1) : " Pappus cite (2) le Περὶ ὀχουμένων d'Archimède parmi les livres de Mécanique appliquée, avec les *Pneumatiques* de Héron ; il n'en connaissait visiblement que le titre. „

Si le Περὶ ζυγῶν était déjà inconnu à Alexandrie au temps de Pappus, à plus forte raison l'était-il à Athènes au temps de Simplicius. Comme, d'ailleurs, il était fait mention de cet ouvrage en des écrits plus récents, dans les *Mécaniques* de Héron, dans les *Collections* de Pappus, il était naturel qu'on le cherchât parmi les traités qui offraient avec celui-là quelque analogie de titre ou de contenu, qu'on l'identifiât avec un livre sur la balance composé par quelque auteur ancien et oublié. C'est ainsi que le livre de Charistion put fort bien être pris par Simplicius pour le Περὶ ζυγῶν d'Archimède.

Revenons à Charistion.

Nous avons dit (3) que les copistes du *Liber Charastonis* avaient, en général, regardé Charasto comme un nom propre, celui de l'auteur du traité. Voici, à cet égard, un témoignage bien remarquable. La Bibliothèque Ambrosienne de Milan possède un manuscrit (Ms. T. 100. Parte superiore) où le traité édité par Thâbit ibn Kurrah porte ce titre (4) : *Liber Carastonis super Euclidem de ponderibus in mensuris*. Nous savons qu'en effet,

(1) Ch. Thurot, *Recherches historiques sur le principe d'Archimède*. Deuxième article (REVUE ARCHÉOLOGIQUE, Nouvelle Série, t. XIX, p. 47 ; 1869).

(2) Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* edidit Fridericus Hultsch, volumen III, p. 1025 ; Berolini, 1878.

(3) Cf. Tome I, p. 81.

(4) BULLETINO DI BIBLIOGRAFIA E DI STORIA DELLE SCIENZE MATEMATICHE E FISICHE pubblicato da B. Boncompagni. Tomo IV, 1874, p. 472, en note.

Thâbit, dans son préambule, signale le livre qu'il entreprend de restaurer comme un écrit dont les déductions s'appuient sur le livre des poids attribué à Euclide.

Connaissons-nous d'autres écrits attribués à Charistion que le *Liber de statera ?*

Un manuscrit de la Bibliothèque Nationale (1) contient, entremêlé au *Liber Carastonis,* un traité *De figura sectoris* qu'il attribue à Thâbit. Or, dans un texte conservé à la Bibliothèque publique de l'Université de Bâle (Ms. F. II. 33), ce traité porte (2) le titre que voici : *Liber Castoris de figura sectoris, seu Thebitus.* Le mot *Castoris* pourrait bien être une déformation, due au copiste, du mot *Carastonis.* Il serait donc possible que le traité *De figura sectoris* fût une œuvre du géomètre grec Charistion et que Thâbit ibn Kurrah en fût seulement l'éditeur,

Ajoutons que, dans certains manuscrits, ce traité *De figura sectoris* est attribué à Campanus (3).

C.

Sur l'Architecture de Vitruve.

Les *Questions mécaniques* d'Aristote ont été bien rarement citées par les anciens ; Diogène Laërce est, peut être, le seul qui ait attribué au Stagirite un ouvrage sur les mécaniques ; aussi l'authenticité de cet écrit a-t-elle été bien souvent mise en doute, depuis le temps où Cardan, dans son *De proportionibus,* se refusait à l'admettre.

Cependant, cet ouvrage, si rarement cité, a exerçé sur le développement de la Mécanique une influence considérable, plus considérable, peut être, que celle des écrits d'Archimède.

Les *Questions mécaniques* servirent en effet de type à des collections diverses ; en ces collections, plusieurs des problèmes traités par Aristote se trouvaient repris, avec des variantes plus

(1) Bibliothèque nationale, Ms. 7377 B (fonds latin).

(2) Bulletino di Bibliografia e di Storia delle Scienze matematische e fisiche pubblicato da B. Boncompagni. Tomo IV, 1871, p. 474, en note.

(3) Maximilian Curtze, *Ueber die Handschrift R. 4° 2, Problematum Euclidis explicatio der Königl. Gymnasialbibliothek zu Thorn* (Zeitschrift für Mathematik und Physik, XIIIter Jahrg., 1868 ; Supplement, p. 64).

ou moins importantes ; ils y étaient souvent joints à d'autres problèmes analogues.

En de prochaines notes (1), nous aurons occasion de signaler deux de ces collections ; en ce moment, nous voudrions dire un mot de celle qui est à la fois la plus connue et la moins intéressante, de celle qui est due à Vitruve.

Au dixième livre de son *Architecture* (2), Vitruve consacre un chapitre (3) à exposer les principes de Statique qui expliquent les effets des machines. La matière de ce Chapitre est empruntée entièrement aux *Questions Mécaniques*. Peut être la forme sous laquelle Vitruve résume ces *Questions* a-t-elle subi l'influence de Philon de Byzance et de son École. Elle a été imposée surtout par le génie romain, si peu capable de garder, aux œuvres helléniques qu'il commente, leur profondeur philosophique et leur rigueur logique.

Aristote avait cherché dans les propriétés du mouvement circulaire les raisons des effets des divers mécanismes; Héron nous apprend que *les anciens* faisaient toujours précéder la théorie des machines simples de considérations sur les puissances relatives de deux cercles concentriques et inégaux. Nous ne nous étonnerons donc pas de voir Vitruve donner ce titre à son Chapitre sur la Statique : *De la force que la ligne droite et la circulaire ont, dans les machines, pour porter les fardeaux.* Nous ne nous étonnerons pas non plus de l'entendre débuter en ces termes (4) :

" J'ay écrit en peu de mots ce que j'ay cru estre nécessaire pour l'intelligence des machines qui sont faites pour tirer, dans lesquelles il faut considérer deux mouvemens ou puissances, qui sont des choses différentes et dissemblables, mais qui conviennent et qui concourent à estre les principes de deux actions : l'une de ces puissances est la force de la ligne droite appelée *eutheia* par les Grecs, l'autre est la force de la ligne circulaire

(1) *Vide infrà :* Note D, *Sur les Mécaniques de Héron d'Alexandrie,* et note F, *Sur le Précurseur de Léonard de Vinci.*

(2) *Les dix livres de l'Architecture* de Vitruve, corrigez et traduits nouvellement en François, avec des notes et des figures. Seconde édition reveuë, corrigée et augmentée Par M. Perrault de l'Académie Royalle des Sciences, Docteur en médecine de la Faculté de Paris. A Paris, chez Jean Baptiste Coignard, Imprimeur ordinaire du Roy, ruë S. Jacques, à la Bible d'Or. MDCLXXXIV.

(3) Chapitre VIII, *De la force que la ligne droite et la circulaire ont, dans les machines, pour porter les fardeaux.*

(4) Vitruve, *loc. cit.*, p. 309.

appelée par les grecs *cyclotes*. Néanmoins, la vérité est que le droit ne va pas sans le circulaire, ny le circulaire sans le droit dans l'élévation des fardeaux qui se fait en tournant les machines. „

A l'appui de ces considérations, Vitruve donne un exemple tiré de la poulie ; comme le fait remarquer Perrault, ce qu'il en dit est fort confus et obscur ; si quelque idée s'y laisse deviner, c'est à coup sûr une idée fausse. Peut-être faut-il voir, en ce nébuleux passage, quelque déformation de ces considérations sur le treuil dont *les anciens,* au dire de Héron, faisaient précéder leur théorie des machines simples.

On ne voit pas, d'ailleurs, que Vitruve ait tenté de prouver *more geometrico* la vertu qu'il attribue au mouvement circulaire; il ne tente point d'appliquer à ce mouvement les principes de la Dynamique péripatéticienne, comme l'ont fait l'auteur des *Questions mécaniques* d'une part, et Charistion d'autre part ; il ne tente pas d'avantage de les tirer de la loi du levier prise comme principe. Il se bonne à de simples allusions, faites au sujet des divers instruments, comme on en peut relever aux cours des *Questions mécaniques.*

Voici, par exemple, ce que dit Vitruve au sujet du levier (1) :

“ ... La raison de cela est que la partie de la pince qui est depuis le centre qu'elle presse jusqu'au fardeau qu'elle lève est la moindre, et que la plus grande partie estant depuis le centre jusqu'à l'autre bout, lorsqu'on la fait aller par cet espace, on peut, par la vertu du mouvement circulaire, en pesant d'une seule main, rendre la force de cette main égale à la pesanteur d'un très grand fardeau. „

Après avoir sommairement traité quelques problèmes de Statique, tous empruntés aux *Questions mécaniques,* Vitruve ajoute (2) :

“ Ces exemples font voir que c'est par la même raison de la distance du centre et du mouvement circulaire que toutes choses sont remuées. „

De ces vagues considérations théoriques se contentait l'esprit utilitaire d'un latin.

(1) Vitruve, *loc. cit.*, p. 310.
(2) Id., *ibid.,* p. 312.

D.

Sur les **Mécaniques** de Héron d'Alexandrie.

On s'accorde, en général, aujourd'hui, à placer la vie de Héron d'Alexandrie longtemps après celle de N.-S. J.-C. et à faire de ce mécanicien un contemporain de Ptolémée ; il est donc juste de placer cette note après celle que nous avons consacrée à Vitruve.

Bon nombre des écrits de Héron nous ont été conservés, plus ou moins intégralement, dans le texte grec et sont connus depuis longtemps; il n'en est pas de même de l'important ouvrage qui avait pour titre *L'élévateur* (Ὁ βαρουλκός) ou *Les mécaniques* (Τὰ μηχανικά).

Pendant très longtemps, on n'a connu de cet ouvrage que les nombreuses allusions faites par Pappus au cours du livre VIII de ses *Collections* et un extrait qu'un copiste avait joint à ce même livre (1).

Le texte grec du βαρουλκός paraît définitivement perdu; mais le célèbre Qostâ ibn Lûkâ en avait donné une version Arabe; cette version fut rapportée d'Orient, au XVIIe siècle, par le savant Golius, qui la déposa à la Bibliothèque de Leyde; elle y est conservée depuis ce temps.

C'est cette version Arabe de Qostâ ibn Lûkâ que M. le Baron Carra de Vaux a publiée, qu'il a traduite en français et qu'il a commentée dans une remarquable introduction (2).

Héron d'Alexandrie connaît les œuvres d'Archimède ; le nom du grand Syracusain se trouve neuf fois dans son traité ; c'est même, avec le nom douteux de Poseidonios, le seul que l'on y trouve cité. D'Archimède, il connaît non seulement le traité Ἐπιπέδων ἰσορροπικῶν que nous possédons, mais encore le livre Περὶ ζυγῶν aujourd'hui perdu; son ouvrage est même l'unique

(1) ΠΑΠΠΟΥ ἈΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ Συναγωγή, Pappi Alexandrini *Collectiones quæ supersunt* e libris manuscriptis edidit, latina interpretatione et commentariis instruxit Fridericus Hultsch; Volumen III; Berolini 1878; pp. 1115-1135.

(2) *Les Mécaniques ou l'Élévateur* de Héron d'Alexandrie, publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ ibn Lûqâ et traduites en français par M. le Baron Carra de Vaux; Extrait du Journal Asiatique; Paris, 1894.

traité qui nous donne quelques renseignements dignes de foi sur ce dernier livre ; nous l'avons vu précédemment (1).

L'influence d'Archimède n'est pas la seule que Héron ait éprouvée ; en deux passages (2), il parle des *Anciens* et de ceux *qui l'ont précédé ;* nous avons rapporte ailleurs (3) ces passages ; en les rapprochant d'une citation de Pappus, nous avons été conduits à les regarder comme une allusion à Philon de Byzance et à son École.

Mais s'il est une pensée dont l'empreinte se trouve profondément gravée au traité de Héron, c'est assurément celle de l'auteur des *Questions mécaniques ;* M. Carra de Vaux l'a très justement fait remarquer (4) :

" Aristote est, en philosophie naturelle, le maître de l'auteur des *Mécaniques.* Celui-ci a été ingrat en ne le citant pas ; mais la marque de la pensée péripatéticienne, sur son œuvre, n'en est pas moins visible. Héron, comme Aristote, est préoccupé de la recherche des causes, du *pourquoi* des phénomènes mécaniques et de la réduction de ces phénomènes à des principes simples. Les chapitres qu'il consacre à cette étude sont parmi les plus beaux et les mieux ordonnés de son livre, et ils impriment sur l'ouvrage entier un cachet de grandeur qui le rend digne d'être placé beaucoup au-dessus de la plupart des traités mécaniques laissés par l'antiquité et par Héron lui-même. „

"... A côté de ces emprunts faits par Héron à la pensée Aristotélicienne, on rencontre dans les *Mécaniques* un chapitre entier (5) qui affecte l'apparence d'un véritable extrait et qui ne tend à rien moins qu'à reproduire, bien que sous une forme très abrégée et avec de sérieuses variantes, les *Mécaniques* d'Aristote. Ce chapitre comprend dix-sept problèmes posés par demande et réponse, comme les problèmes mécaniques d'Aristote, et précédés d'une introduction qui rappelle de loin le début de la *Naturalis auscultatio.* „

Essayons de marquer brièvement les idées essentielles de Héron touchant les principes de la Statique.

A la base des déductions du mécanicien Alexandrin, il semble

(1) *Vide supra,* note B.

(2) Héron d'Alexandrie, *Les Mécaniques ou l'Élévateur,* p. 108 et p. 112.

(3) *Vide supra,* note B.

(4) Héron d'Alexandrie, *Les Mécaniques ou l'Élévateur,* Introduction, pp. 22-27.

(5) Héron d'Alexandrie, *Les Mécaniques ou l'Élévateur,* livre II, section IV.

bien qu'il faille placer la loi du levier, donnée sur l'autorité d'Archimède (1). " Archimède a déjà donné cette proposition dans son livre *Sur l'équilibre entre les poids.* „

Cette loi sert, comme nous l'avons vu en la note B, à établir la condition d'équilibre du treuil.

Cette condition d'équilibre, à son tour, sert à établir cette vérité, qui trouve son emploi dans l'explication du levier : Un grand poids, qui se meut sur un petit cercle, sera équilibré par un petit poids qui se meut sur un grand cercle concentrique au précédent, si ces poids sont en raison inverse des arcs de cercle qu'ils décrivent en même temps.

Cette déduction, que Héron déclare emprunter " aux anciens „ et " à ceux qui l'on précédé „, conduit au principe de Statique dont Aristote, puis Charistion, ont fait usage ; mais elle n'y conduit nullement par la voie que ces mécaniciens ont suivie. Ceux-ci, en effet, ont rattaché le principe de leur Statique aux lois fondamentales de la Dynamique péripatéticienne. Héron, au contraire, suivant sans doute l'exemple de Philon de Byzance, le fonde sur la loi l'équilibre du levier, qu'il suppose établie directement. Il est intéressant de remarquer que cette manière de procéder est précisément celle que nous avons rencontrée en l'une des quatre propositions sur le levier que les manuscrits attribuent à Euclide (2).

Ce qui était donc, dans les *Questions mécaniques* d'Aristote et dans le livre *Des causes* de Charistion, la pensée maîtresse de toute la Statique n'était plus, dans la manière de raisonner adoptée par Héron, qu'un intermédiaire, assez oiseux après tout ; au lieu de ramener toutes les machines simples au mouvement de deux poids sur deux cercles concentriques, il était aussi simple et plus naturel de les réduire de suite au levier.

C'est ce que Héron a parfaitement compris : " Les cinq machines simples qui meuvent le poids, dit-il (3), se ramènent à des cercles montés sur un seul centre ; c'est ce que nous avons démontré sur les diverses figures que nous avons précédemment décrites. Je remarque pourtant qu'elles se reduisent encore plus directement à la balance qu'aux cercles ; on a vu, en effet, que les principes de la démonstration des cercles ne nous sont venus que de la balance ; on démontre que le rapport du poids sus-

(1) Héron d'Alexandrie, *Les Mécaniques ou l'Élévateur*, p. 107.
(2) *Vide suprà*, tome I, pp. 71-72.
(3) Héron d'Alexandrie, *Les Mécaniques ou l'Élévateur*, p. 127.

pendu au petit bras de la balance au poids suspendu au grand bras, est égal au rapport du grand bras au petit. „

L'intermédiaire dont Héron conteste l'utilité a cependant l'avantage de mettre en évidence cette proposition : La puissance et la résistance sont inversement proportionnelles aux vitesses avec lesquelles se déplacent simultanément leurs points d'applications. Or, on sait quel rôle cette proposition a joué dans le développement de la Statique.

Cette proposition, Héron d'Alexandrie la connaît. Comment lui a-t-elle été révélée ? Est-ce par la réduction de toutes les machines simples à deux cercles concentriques ? Est-ce simplement par la lecture de " ceux qui l'ont précédé „ ? Il ne nous en dit rien. Il ne nous donne même, de cette loi, aucune justification *à priori*. Il se borne à constater qu'elle est vérifiée dans les diverses machines dont il a donné la théorie.

Ainsi, après avoir donné la théorie du guindeau, il dit (1) : " Cet instrument et toutes les machines qui lui ressemblent sont lents, parce que, plus est faible la puissance comparée au poids très lourd qu'elle meut, plus est long le temps que demande le travail. Il y a un même rapport entre les puissances et les temps. „ Puis il contrôle l'exactitude de cette assertion.

C'est de la même manière qu'au sujet de la moufle, il énonce (2) cette vérité : " Le ralentissement de vitesse a lieu aussi dans cette machine... Le rapport entre les temps est égal au rapport entre les puissances motrices. „

Un peu plus loin, au sujet du levier, Héron écrit (3) : " Le ralentissement de la vitesse a encore lieu cette fois selon le même rapport. Il n'y a pas, en effet, de différence entre les leviers et les treuils... Comme nous avons déjà démontré, au sujet des treuils, que le rapport entre les puissances est égal au rapport des temps, la même démonstration s'applique dans le cas présent. „

En réalité, lorsque Héron a donné la théorie du treuil (4), il n'a pas touché un seul mot de la proportionnalité entre la puissance motrice et le temps. Cette proportionnalité, cependant, se tire sans peine de la théorie qu'il a empruntée aux " anciens „, et ces " anciens „, sans doute, n'avaient garde de négliger ce

(1) Héron d'Alexandrie, *loc. cit.*, pp. 131-132.
(2) Héron d'Alexandrie, *loc. cit.*, pp. 134-135.
(3) Héron d'Alexandrie, *loc. cit.*, pp. 136-137.
(4) Héron d'Alexandrie, *loc. cit.*, pp. 106-109.

corollaire ; mais Héron a omis de le reproduire et, cependant, il l'invoque en suite comme s'il l'avait donné.

Héron répète (1) encore semblable affirmation au sujet du coin et de la vis : " Le ralentissement de vitesse a lieu aussi dans ces deux instruments... Le rapport entre les temps est comme le rapport entre les puissances. „

Le mécanicien Alexandrin se borne ici à cette assertion ; il n'en donne aucune vérification ; il n'en saurait tenter aucune, car au sujet du coin et de la vis, il n'a que de vagues aperçus et nulle théorie complète. S'il possédait, d'ailleurs, une théorie correcte de ces instruments, il verrait que la loi qu'il énonce ne peut leur être appliquée sans modification ; qu'il n'y faut point faire figurer les vitesses avec lesquelles se déplacent les points d'application de la puissance et de la résistance, mais seulement les composantes suivant la verticale de ces deux vitesses.

Cette correction, d'ailleurs, n'eût peut-être point fort surpris Héron d'Alexandrie ; en un passage de son œuvre, il semble en avoir soupçonné la nécessité.

Parmi des problèmes qui sont, pour la plupart, empruntés aux *Questions mécaniques* d'Aristote, nous trouvons le problème suivant (2) qui n'en provient point :

Un poids est accroché à un support par une corde qui pend verticalement; on saisit cette corde quelque part entre le support et le poids et on l'écarte jusqu'à ce que la partie qui continue à pendre vienne se superposer à une verticale donnée. Pourquoi l'effort qu'il faut faire est-il d'autant plus grand que l'on a saisi la corde plus près du support ?

Héron prouve que, de la sorte, on impose au poids une ascension d'autant plus grande qu'on a saisi la corde plus près du support ; " Et pour porter le poids plus haut, il faut une plus grande force que pour le porter moins haut, parce que, pour le porter dans un lieu plus élevé, il faut un temps plus long. „

On peut, si l'on veut, voir dans ce passage une sorte d'indication de la modification que Galilée apportera au principe des vitesses virtuelles formulé par Aristote et par Charistion ; mais cette indication est extrêmement vague et indécise.

Pour compléter cet exposé des opinions de Héron sur les principes de la Statique, rappelons que le mécanicien Alexandrin connaissait fort bien la notion de moment d'un poids par rapport

(1) Héron d'Alexandrie, *loc. cit.*, p. 137.
(2) Héron d'Alexandrie, *loc. cit.*, pp. 149-151.

à un point ; nous avons vu, en la note B, qu'il en avait usé pour établir les conditions d'équilibre d'une balance à fléau courbe, et aussi d'une roue, mobile autour de son centre, chargée de deux poids attachés en deux points de sa circonférence.

Ce court résumé suffit à nous montrer la richesse des aperçus touchant les principes de la Mécanique que nous ouvre le Βαρουλκός. Il ne faudrait pas, cependant, faire de ces aperçus trop grand honneur au mécanicien Alexandrin ; en leur découverte, la part de son originalité est faible ou nulle. Soit qu'il nous fasse connaître la source de ses théories, soit qu'il nous la laisse ignorer, nous reconnaissons sans peine qu'il les a presque entièrement empruntées à ceux qui l'ont précédé, à Aristote, à Archimède, et sans doute aussi aux mécaniciens de l'École de Philon de Byzance et de Charistion.

E.

Sur Jordanus de Nemore.

Nous avons fait remarquer (t. I, p. 106) que le mathématicien ordinairement connu sous le nom de *Jordanus Nemorarius* devait, au témoignage unanime des manuscrits, être nommé *Jordanus de Nemore ;* nous avons ajouté qu'il convenait, selon nous, de regarder ce surnom, *de Nemore,* comme désignant le lieu d'origine de Jordanus. Il se trouve que cette opinion avait été émise, dès la fin du XVIe siècle, par Bernardino Baldi ; celui-ci, en effet, s'exprime en ces termes (1) : “ Giordano, d'un luogo detto Hemore, si chiamò Hemorario. „

Il est à peine besoin de remarquer que l'orthographe *Hemore, Hemorario,* pour *Nemore, Nemorario* résulte d'une faute de copiste ou d'imprimeur.

F.

Sur le Précurseur de Léonard de Vinci.

Nous avons désigné sous le nom de Précurseur de Léonard de Vinci l'auteur inconnu d'un traité de Mécanique, fort répandu au XIIIe siècle, que nous avons longuement étudié (2).

(1) Bernardino Baldi, *Cronica de' Matematici, overo epitome dell' istoria delle vite loro ;* Urbino, per A. Monticelli, 1707. Art. : Giordano.
(2) Voir : Tome I, Chapitre VII, 3 ; pp. 134-147.

Nous n'avions pu, toutefois, pousser cette étude aussi loin que nous l'aurions voulu. L'édition de ce texte, donnée en 1565 par Curtius Trojanus, est fautive au point de demeurer le plus souvent incompréhensible. En dehors de ce texte imprimé, nous n'avons eu pendant très longtemps à notre disposition qu'un seul texte manuscrit, celui que renferme le Ms. 7378 A (fonds latin) de la Bibliothèque Nationale ; or ce dernier texte, d'une lecture difficile, est assez peu correct. C'est seulement au cours de la révision des épreuves que nous avons eu communication d'un texte manuscrit du XIIIe siècle, à la fois très clair et très correct ; ce texte se trouve au Ms. 8680 A (fonds latin) de la Bibliothèque Nationale.

A l'aide de ce texte, nous avons pu reprendre une étude très minutieuse du traité du Précurseur de Léonard de Vinci ; cette étude nous a conduits à des conclusions nouvelles que nous avons développées ailleurs (1) et que nous nous contenterons de résumer très sommairement en cette note.

Le traité *De ponderibus* que nous attribuons au Précurseur de Léonard est, dans les textes manuscrits, divisé en quatre livres.

Le premier livre reprend les propositions déjà formulées par Jordanus de Nemore ; il les reproduit ou les rectifie ; en outre, il y joint deux additions fort importantes : la condition d'équilibre du levier coudé et la pesanteur apparente d'un corps sur un plan incliné ; ces deux additions sont obtenues par la méthode même qui a fourni à Jordanus la loi d'équilibre du levier droit.

Le second livre traite de problèmes fort analogues à ceux dont traitait le *De canonio*.

Le troisième livre est consacré à la notion de moment et aux conséquences qui s'en déduisent touchant la stabilité de la balance.

Le quatrième livre, enfin, a pour objet certains problèmes de Dynamique.

Or, la conclusions à laquelle nous a conduits l'étude minutieuse de ce traité peut se formuler ainsi : *Tandis que le premier livre a été composé au moyen âge par un disciple de Jordanus de Nemore, les trois derniers livres sont une relique de la Science grecque parvenue sans doute aux Occidentaux par l'intermédiaire des Arabes.*

(1) *Études sur Léonard de Vinci.* — VII. *La Scientia de ponderibus et Léonard de Vinci.*

Les lettres que portent les figures et qu'emploient les démonstrations des livres II et III se succèdent presqu'invariablement dans l'ordre

A, B, C, D, E, Z, H, T

qui rappelle celui de l'alphabet grec

α, β, γ, δ, ε, ζ, η, θ.

Comme l'a remarqué M. Hultsch, c'est là un caractère qui permet de reconnaître très sûrement les écrits mathématiques d'origine grecque.

Au livre III, la notion de moment est présentée sous une forme voisine de celle qu'elle affecte en l'*Élévateur* de Héron d'Alexandrie.

Enfin, bon nombre des questions traitées aux livres III et IV sont empruntées aux *Questions mécaniques* d'Aristote, encore que l'auteur ait largement modifié et, souvent, grandement amélioré les solutions du Stagirite.

Les *Questions mécaniques* d'Aristote ont fourni à plus d'un mécanicien de l'Antiquité de larges emprunts. Au dixième livre de son *Architecture,* Vitruve introduit un chapitre, le huitième, auquel il donne ce titre : *De la force que la ligne droite et la circulaire ont, dans les machines, pour porter les fardeaux.* La matière de ce Chapitre est tirée en entier des Μηχανικὰ προβλήματα. De même, en son traité si peu ordonné sur *Les Mécaniques,* Héron d'Alexandrie reproduit (1) plusieurs des *Questions* du Stagirite, non sans y apporter de sérieuses variantes.

Les trois derniers livres du traité qui nous occupe forment une collection analogue ; ils sont, pour nous, un précieux document de la Science grecque ; c'est par eux que bon nombre des idées émises par Aristote en ses *Questions mécaniques* sont parvenues aux Occidentaux du moyen âge.

Il est vraisemblable, d'ailleurs, qu'elles leur sont parvenues par l'intermédiaire d'une version arabe. Ce passage par l'arabe explique seul l'absence, dans le traité que nous étudions, de tout mot grec simplement latinisé ; de tels mots abondent, au contraire, dans les écrits qui ont été traduits directement du grec au latin ; tel le *De canonio.*

(1) *Les Mécaniques ou l'Élévateur* de Héron d'Alexandrie, publiées et traduites par le Baron Carra de Vaux. Extrait du JOURNAL ASIATIQUE. Paris, 1894. Livre II, Section IV.

Les livres II, III et IV représentent donc une importante relique de la Science grecque.

Tout différent est le caractère que nous présente le livre I. Aucune marque de la Science hellénique ne s'y trouve imprimée. Les lettres qui désignent les divers points des figures s'y succèdent dans l'ordre de l'alphabet latin. La seule marque que nous y reconnaissions, profondément gravée, est celle de l'École de Jordanus. Visiblement, ce livre est une production du moyen âge occidental.

D'ailleurs, entre le premier livre du traité *De ponderibus* qui nous occupe et les trois derniers livres, le lien est des plus lâches; rien de plus aisé que de briser ce lien. Aucune des démonstrations exposées aux trois derniers livres n'invoque explicitement une proposition du premier livre. Il y a plus : les deux notions qui jouent, au premier livre, un rôle essentiel, la notion de gravité *secundum situm* et la notion de travail de la pesanteur, n'apparaissent aucunement aux trois derniers livres. Il est clair que le premier livre d'une part, et les trois derniers livres d'autre part, forment deux ouvrages distincts, fort artificiellement réunis l'un à l'autre.

Les manuscrits, d'ailleurs, ne les réunissent pas toujours. M. A. A. Bjornbö a signalé (1) un manuscrit de la Bibliothèque Vaticane, le Ms. nº 3102, où l'on trouve d'abord les neuf propositions des *Elementa Jordani*, puis les quatre théorèmes du *De canonio;* ces treize propositions sont suivies des trois derniers livres du traité *De ponderibus* qui nous occupe en ce moment.

Chose digne de remarque : Il semble que Léonard de Vinci ait précisément eu en mains un manuscrit ainsi composé. En effet, des propositions démontrées aux trois derniers livres du traité *De ponderibus,* il n'en est presque aucune qui n'ait laissé en ses notes une trace bien reconnaissable; il semble, au contraire, que les démonstrations du premier livre lui soient demeurées entièrement inconnues; en particulier, les tâtonnements et les hésitations dont sont empreintes ses recherches sur le plan incliné s'expliqueraient difficilement s'il avait pu lire la belle solution de ce problème que le mécanicien du XIIIe siècle avait découverte.

(1) Axel Anthon Bjornbö, *Studien über Menelaos' Sphärik. Beiträge zur Geschichte der Sphärik und Trigonometrie der Griechen* (ABHANDLUNGEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATISCHEN WISSENSCHAFTEN MIT EINSCHLUSS IHRER ANWENDUNGEN, begründet von Moritz Cantor. XIVtes Heft, S. 147; 1902).

Il nous paraît donc assuré que le traité *De ponderibus*, regardé tout d'abord comme l'œuvre d'un seul auteur, est, en réalité, la réunion de deux traités hétérogènes, dont l'un est un legs de la Science grecque, tandis que l'autre a vu le jour au moyen âge.

Si ces deux écrits, si différents d'origine et de caractère, se trouvent le plus souvent soudés l'un à l'autre, est ce pur effet de hasard ?

Les écrits dont usait l'École *De ponderibus* nous offrent un autre exemple de soudure entre un traité d'origine grecque et un autre traité composé par un géomètre du moyen âge ; les *Elementa Jordani super demonstrationem ponderis* sont presque toujours, et dès le XIII[e] siècle, unis au *De canonio*. Or, de cette rhapsodie, la raison est évidente ; le *De canonio* ne se suffit pas à lui-même ; il invoque des propositions qui ont été démontrées " par Euclide, par Archimède et par d'autres " ; la démonstration de ces propositions est l'un des principaux objets de l'écrit de Jordanus ; cet écrit forme ainsi, au *De canonio*, une introduction très naturelle et peut être voulue par Jordanus même.

Ne peut-on donner une explication analogue de la soudure entre le premier livre du *De ponderibus* et les trois derniers ?

Comme le *De canonio*, le second livre de ce traité suppose la loi du levier et son extension au cas où l'on tient compte du poids des bras du levier ; l'auteur du premier livre démontre ces propositions exactement comme Jordanus l'avait fait avant lui ; en sorte que son premier livre peut, aussi bien que les *Elementa Jordani*, servir d'introduction au second livre.

Mais ce premier livre apporte au troisième livre un secours que les *Elementa Jordani* ne lui sauraient donner.

En effet, si l'on suit avec attention le raisonnement par lequel se trouve justifiée la première proposition de ce troisième livre, on reconnaît sans peine que ce raisonnement suppose un lemme. Ce lemme peut s'énoncer de la manière suivante : " Si des poids égaux pendent aux bras inégaux d'un levier coudé, il faudra, pour l'équilibre, que ces poids soient équidistants de la verticale du point d'appui. "

Cette proposition était assurément connue des géomètres de l'École d'Alexandrie ; elle est citée par Héron d'Alexandrie (1) qui la regarde avec raison comme impliquée dans les théorèmes

(1) *Les Mécaniques ou l'Élévateur* de Héron d'Alexandrie, pp. 87 et seqq.

d'Archimède. Mais, bien loin de se trouver établie dans les *Elementa Jordani*, elle y était formellement niée. Au contraire, l'auteur du premier livre *De ponderibus* l'énonce exactement, en son théorème VIII, et il la justifie par un raisonnement des plus élégants.

De même que Jordanus de Nemore semble avoir rédigé ses *Elementa* pour en faire une sorte d'introduction au *De canonio*, de même son disciple, en composant un premier livre *De ponderibus*, parait avoir souhaité de fournir aux trois derniers livres un lemme dont ils avaient besoin.

G.

Sur un passage du **Tractatus de continuo** de Thomas Bradwardin.

La surface libre d'un liquide en équilibre est une sphère concentrique au Monde. De cette vérité découle ce corollaire : Une coupe exactement pleine contient plus de liquide lorsqu'elle est proche du centre du Monde que lorsqu'elle en est éloignée.

Ce corollaire est une de ces propositions d'allure paradoxale dont les maîtres de l'École faisaient volontiers usage pour frapper l'imagination de leurs disciples. Nous l'avons tout d'abord rencontré (1) dans l'*Opus majus* de Roger Bacon ; nous l'avons retrouvé (2) en l'une des XIV *Questions* de Pierre d'Ailly ; Thomas Bradwardin, qui se place entre ces deux auteurs, l'énonce également.

L'Anglais Thomas Bradwardin naquit vers la fin du XIII[e] siècle à Hartfield, près Chichester. En 1325, il était *Proctor* (Procureur) de l'Université d'Oxford, où il enseigna tour à tour la Théologie, la Philosophie et les Mathématiques ; son enseignement lui valut le surnom de *Doctor profundus*. Il mourut le 26 août 1349, peu de jours après sa nomination au siège archiépiscopal de Canterbury.

Plusieurs des écrits mathématiques de Bradwardin, dont l'influence avait été grande sur la science médiévale, ont été imprimés à la fin du XV[e] siècle et au début du XVI[e] siècle ; d'autres

(1) Tome II, p. 43.
(2) Tome II, p. 60.

sont demeurés manuscrits ; tel le *Tractatus de continuo* dont nous devons à Maximilian Curtze la description et l'analyse (1).

Après avoir montré qu'une même corde soustend, en des circonférences inégales, des arcs inégaux, et qu'à la plus grande circonférence correspond le plus petit arc, Bradwardin ajoute : " Lorsqu'un liquide continu se trouve contenu dans un vase, il abandonne les extrêmes bords du vase, qu'il laisse à sec et, dans le vase demi-plein, il forme une intumescence au-dessus du diamètre du vase. Si l'on élève alors ce vase demi-plein, il devient d'abord plus plein, puis tout à fait plein et de surface convexe vers la haut ;... en descendant, au contraire, il devient moins plein. „

Maximilien Curtze a vu, dans ce passage, une allusion aux effets de la capillarité ; nous pensons qu'il n'en est pas ainsi et que Bradwardin veut parler du corollaire déjà énoncé par Roger Bacon.

H.

Sur la progression des éléments selon Thomas Bradwardin.

Nous avons dit (2) comment certains commentateurs d'Aristote avaient soutenu cette opinion : Le volume de chacun des quatre éléments feu, air, eau, terre est exactement décuple du volume de l'élément suivant. Au dernier Chapitre de son *Tractatus de proportionibus* (3), Thomas Bradwardin a proposé une autre loi analogue, qui eut vogue dans les Écoles.

(1) Maximilian Curtze, *Ueber die Handschrift R. 4° 2, Problematum Euclidis explicatio der Königl. Gymnasialbibliothek zu Thorn* (Zeitschrift für Mathematik und Physik, XIIIter Jahrg., 1868 ; Supplement, p. 85).

(2) *Vide suprà*, t. II, pp. 93-94.

(3) *Questio de modalibus* Bassani Politi — *Tractatus proportionum introductorius ad calculationes* Suisset — *Tractatus proportionum* Thome Braduardini — *Tractatus proportionum* Nicholai Oren — *Tractatus de latitudinibus formarum* ejusdem Nicholai — *Tractatus de latitudinibus formarum* Blasii de Parma — Auctor *sex inconvenientium* — Colophon : Venetiis, mandato et sumptibus heredum quondam Nobilis Viri D. Octaviani Scoti Modoetiensis per Bonetum Locatellum Bergomensem presbyterum. Kalendis Septembribus 1505.

Le passage dont nous parlons ne se trouve pas dans l'édition suivante: *Contenta in hoc libello : Arithmetica communis ex* Severini Boetii *Arithmetica per* M. Johannem de Muris *compendiose excerpta. — Tractatus brevis proportionum : abbreviatus ex libro de proportionibus* D. Thome

Bradwardin admet, en premier lieu, que les quatre éléments remplissent complètement le volume sphérique que limite l'orbe de la lune. Il admet, d'après Alfragan et Thâbith ibn Kurrah, que le rapport du diamètre de la lune au diamètre terrestre est égal à 32,30. Il admet enfin que les volumes des quatre sphères qui limitent respectivement la terre, l'eau, l'air et le feu forment une progression géométrique.

Une calcul bien facile aujourd'hui, mais dont il tire visiblement quelque vanité, lui fait connaître alors les rapports des volumes de ces quatre sphères et les rapports de leurs rayons.

Cette théorie de Bradwardin fut assurément fort remarquée dans les Écoles du moyen âge. Elle a été exposée avec grand soin et réfutée par Thimon le Juif (1) ; elle a été également discutée (2) par l'auteur des *Meteorologicorum libri quatuor* qui ont été faussement attribués à Duns Scot. Au milieu du XVIe siècle, elle avait encore ses tenants ; en 1552, Nonio Marcello Saia la mentionne comme une doctrine accessible aux seuls mathématiciens (3).

Braguardini Anglici — *Tractatus de latitudinibus formarum secundum doctrinam* Magistri Nicolai Horem. — *Algorithmus* M. Georgii Peurbachii *in integris* — *Algorithmus* Magistri Joannis de Gmunden *de minuciis phisicis* — Colophon : Impressum Vienne per Joannem Singrenium expensis vero Leonardi et Luce Alantse fratrum, Anno Domini MCCCCCXV. Decimonono die Maii.

(1) Thimonis *Quæstiones in libros Metheororum ;* in lib. I, quæst. VI : Utrum quatuor elementa sint continue proportionalia ?

(2) R. P. F. Joannis Duns Scoti, Doctoris subtilis, Ordinis Minorum, *Meteorologicorum libri quatuor*. Lugduni, sumptibus Laurentii Durand, MDCXXXIX. Lib. I, quæst. XIII : Utrum quatuor elementa sint proportionalia continue ? — *Vide infrà*, Note I.

(3) *Di* Nonio Marcello Saia dala Roccha Gloriosa in Lucania *Ragionamenti sopra la celeste sfera in lingua Italiana comune. Con uno breve Tractato dela compositione dela sfera materiale* alla Molto Eccellente e Magnanima Madama Margherita di Franza, Duchessa di Berri ; ed unica Sorella dell' Invitissimo e Christianissimo Henrico secondo Re di Franza. Parisiis, Veneunt apud Franciscum Bartholomæum, sub Scuto Veneto. 1552. Ragionamento primo.

I.

SUR LE **Traité des Météores** FAUSSEMENT ATTRIBUÉ A JEAN DUNS SCOT.

Nous avons conté précédemment (1) comment, en 1617, Franciscus de Pitigianis avait fait imprimer, en les attribuant à Jean Duns Scot, des *Questions* sur la Physique d'Aristote qui avaient été publiées depuis un siècle sous le nom de Jean Marsile d'Inghen et que de nombreux scolastiques avaient citées comme œuvres de ce dernier.

Les Franciscains qui ont édité les Œuvres complètes de Duns Scot (2) n'ont pas partagé l'erreur commise par Franciscus de Pitigianis. Ils ont reproduit (3), il est vrai, les *Quæstiones in libros Physicorum* que celui-ci avait publiées ; mais il les ont fait précéder d'une Introduction (4) en laquelle le P. Wadding montrait combien l'attribution de ces *Questions* à Duns Scot était invraisemblable ; très nettement, il les regardait comme ayant subi l'influence de l'École nominaliste de Paris, et il désignait Marsile d'Inghen comme un de leurs auteurs probables.

L'œuvre de Duns Scot, qui s'était ainsi enrichie des *Questions sur les Physiques* composée par Marsile d'Inghen, fut également accrue, lorsque l'édition complète en fut donnée, de *Questions* apocryphes sur les quatre livres des *Météores* d'Aristote (5).

Ces *Questions sur les quatre livres des Météores* sont, elles aussi, précédées d'une Introduction du P. Wadding (6).

(1) Voir : Tome II, p. 14, en note.

(2) R. P. F. Joannis Duns Scoti, Doctoris subtilis, Ordinis Minorum, *Opera omnia* quæ hucusque reperiri potuerunt, collecta, recognita, notis, scholiis, et commentariis illustrata, a P. P. Hibernis, Collegii Romani S. Isidori professoribus, jussu et auspiciis Rmi P. F. Joannis Baptistæ a Campanea, ministri generalis. Lugduni, sumptibus Laurentii Durand, MDCXXXIX ; 8 vol. in-fol.

(3) R. P. F. Joannis Duns Scoti, Doctoris subtilis, Ordinis Minorum, *Diludicissima expositio et Quæstiones in octo libros Physicorum Aristotelis.* Operum tomus II.

(4) Censura R. P. F. Lucæ Waddingi Hiberni de sequenti opere (Joannis Duns Scoti *Opera,* tomus II).

(5) R. P. F. Joannis Duns Scoti, Doctoris subtilis, Ordinis Minorum, *Meteorologicorum libri quatuor.* Opus quod non antea lucem vidit, ex Anglia transmissum. Advertat compactor librorum hunc tractatum, æquo tardius ad nos delatum, ante tomum III ponendum esse ne erret.

(6) R. P. Lucæ Waddingi de hoc Meteororum opusculo censura.

Le savant Franciscain ne se prononce pas formellement contre leur authenticité ; toutefois, il apporte à l'encontre de cette authenticité des arguments bien puissants et qu'il réfute à peine.

En premier lieu, il remarque que l'auteur, citant (1) Thomas d'Aquin, le nomme *Beatus Thomas*. Or, Thomas d'Aquin a été canonisé par Jean XXII, qui monta sur le trône pontifical en 1316, tandis que Duns Scot est mort en 1308.

En second lieu, l'écrit sur les Météores cite (2) le *Tractatus de proportionibus* de Thomas Bradwardin ; or, Thomas Bradwardin qui était, en 1325, procureur de l'Université d'Oxford, et qui mourut en 1349, quarante-et-un ans après Duns Scot, ne semble pas avoir pu composer son *Tractatus de proportionibus* durant la vie du Docteur subtil.

Le P. Wadding émet l'hypothèse que ces *Questions* sur les quatre livres des *Météores* pourraient être l'œuvre d'un Franciscain Anglais, Simon Tunsted, mort en 1369 ; ce religieux est, en effet, donné par Pitseus et par d'autres écrivains Franciscains comme ayant composé sur ce sujet un traité qui lui valut une grande réputation.

L'étude de ces *Quatre livres sur les Météores* ne révèle aucun détail qui ne se puisse fort bien accorder avec l'hypothèse émise ici par Wadding.

Une allusion aux Anglais, contenue en la cinquième question du livre premier, semble indiquer que l'auteur était Anglais ou vivait en Angleterre.

D'autre part, l'influence des *Questions sur les livres des Météores* composées par Thimon se marque, à chaque instant, en l'ouvrage faussement attribué à Duns Scot ; les titres des questions sont souvent identiques dans les deux écrits ; les raisons invoquées pour les résoudre sont fréquemment les mêmes ; elles sont alors présentées dans le même ordre et presque dans les mêmes termes ; visiblement, l'auteur du traité attribué à Duns Scot n'a été, le plus souvent, qu'un abréviateur de Thimon.

Il semble, d'ailleurs, que de l'abrégé qu'il avait donné, un nouvel abrégé ait été composé ; et de ce nouvel abrégé, l'auteur nous est connu ; c'est Nicole Oresme.

En effet, M. Henri Suter a fait connaître (3) un manuscrit,

(1) Lib. I, quæst. 10.

(2) Lib. I, quæst. 13.

(3) Heinrich Suter, *Eine bis jetzt unbekannte Schrift des Nic. Oresme* (Zeitschrift für Mathematik und Physik. XXVII. Jahrgang : 1882. Historisch-literarische Abtheilung, p. 121).

conservé sous le n° 839 à la Bibliothèque du Chapitre de St Gall ; à la fin de ce manuscrit se lisent ces paroles : *Rescriptæ sunt hæ quæstiones venerabiles Magistri Orem super libros Metheororum Aristotelis Peripotetici* (sic). *Anno Domini 1459 pridie idus mensis Septembris indictione* 7ª.

M. Suter a déjà signalé la très grande analogie du traité de Nicole Oresme avec celui qu'il attribuait à Jean Duns Scot. Les extraits, malheureusement peu nombreux, des *Questions* de Nicole Oresme que nous fait connaître l'étude de M. Suter nous conduisent à penser qu'Oresme a résumé le commentaire que l'on devait plus tard attribuer à Duns Scot ; ce commentaire nous paraît avoir servi d'intermédiaire entre les *Questions* de Thimon et les *Questions* de Nicole Oresme.

Si l'on observe que Thimon le Juif (ou, plus exactement, Thémon le fils du Juif) a composé ses *Questions sur les Météores* à l'Université de Paris et qu'il a appartenu à cette Université de 1349 à 1361 (1) ; que, d'autre part, Nicole Oresme, né en 1320, devint, en 1355, Grand Maître du Collège de Navarre et, en 1377, Évêque de Lisieux, où il mourut en 1385, on voit qu'il est naturel d'attribuer la composition des *Questions sur les Météores* qui furent insérées dans les œuvres de Duns Scot, à un écrivain Anglais qui les aurait rédigées vers l'an 1360. Simon Tunsted répond fort bien à ce signalement.

La figure de la terre et des mers a occupé notre auteur à deux reprises différentes.

Il en traite, tout d'abord, en la Question treizième du premier livre. Cette question est consacrée à l'examen de l'opinion selon laquelle les volumes des quatre éléments formeraient une progression géométrique.

L'auteur, qui s'inspire souvent des opinions émises par Thimon sur le même sujet, prouve que le volume de la mer est inférieur au volume de la terre " Sinon, dit-il (2), la terre entière serait submergée, conséquence contraire à l'expérience. Or, cette conséquence se pourrait prouver : Que l'on imagine la terre hors de son lieu naturel et l'eau au centre du monde ; puis que la terre descende ; avant que son centre ne parvînt au centre du monde, elle serait entièrement submergée, puisqu'on la suppose moins volumineuse que l'eau. „

(1) Cf. : P. Duhem, *Thémon le fils du Juif et Léonard de Vinci ;* II. Ce que nous savons de Thémon, le fils du Juif (BULLETIN ITALIEN, t. VI, avril 1906).

(2) Joannis Duns Scoti *Meteorologicorum libri quatuor,* p. 33.

“ On pourrait prétendre que la terre se trouve placée d'un côté du centre du monde et que l'eau lui fait contrepoids de l'autre côté. „

“ Mais s'il en était ainsi, la mer irait sans cesse en s'approfondissant au fur et à mesure que l'on s'éloigne des côtes, et cela est contre l'expérience. „

“ En second lieu, la terre tend naturellement à se placer au-dessous de l'eau ; en sorte que l'eau placée de l'autre côté du centre du monde ne lui saurait faire contre-poids. „

“ Enfin l'aggrégat formé par la terre et l'eau ne serait pas sphérique. Cette conséquence est fausse, car nous voyons dans les éclipses que l'ombre de cet aggrégat a la forme d'un cercle. Et, d'autre part, la conséquence découlerait évidemment des premisses si l'eau était plus considérable que la terre et que celle-ci émergeât en partie. „

Simon Tunsted combat ici l'opinion de Nicolas de Lyre *(Vide suprà,* p. 52) ; parmi les arguments qu'il lui objecte, il en est que nous avons déjà rencontrés *(Vide suprà,* pp. 14-15) dans les commentaires au *De Cœlo* composés par Jean de Jandun.

L'auteur va reprendre cette discussion, d'une manière plus approfondie, en la première question de son second livre, question qu'il formule ainsi : *Utrum mare semper fluat a septentrione ad austrum.*

Au second article de cette question (1), en effet, il se demande “ si la mer est le lieu naturel des eaux „, ce qui l'amène à examiner quels sont les lieux naturels de la terre et de l'eau. Parmi les difficultés qu'il examine, en voici une, qui est la quatrième : “ Ou bien l'eau, dans son mouvement, tend au même lieu naturel que la terre, ou bien non ; de la première supposition, il résulterait que le centre de la terre est le lieu naturel de l'eau comme il l'est de la terre ; de la seconde, il résulterait que toute gravité, en ce monde, ne tend pas au même centre. „

La réponse par laquelle Simon Tunsted entend résoudre cette difficulté mérite d'être citée en entier, car elle donne lieu à plus d'une remarque intéressante ; la voiçi :

“ Au sujet du quatrième argument, il se présente une grande difficulté. „

“ Campanus, au cinquième chapitre de son traité *De la sphère*, imagine que la terre se trouve, de notre côté, élevée au-dessus du centre du monde et que l'eau, placée de l'autre côté, lui fait

(1) Joannis Duns Scoti *Meteorologicorum libri quatuor*, pp. 62-63.

contre-poids ; la gravité terrestre et la gravité de l'eau ont donc des centres différents. Il suppose que la terre était, tout d'abord, couverte par les eaux ; puis que, sur l'ordre de Dieu, les eaux se sont réunies en un même lieu et la terre-ferme a apparu, afin que l'homme et les autres animaux eussent une habitation qui leur pût convenir. Or, cette réunion des eaux en un même lieu ne pourrait se faire si la terre demeurait en son centre, car l'eau tendrait alors à recouvrir la terre-ferme ; il a donc été nécessaire que la terre montât hors de son lieu naturel. Voici les paroles mêmes qu'écrit Campanus ; après avoir énuméré la position et l'ordre des sphères célestes et l'ordre du feu et de l'air, il dit : “ La seconde sphère est la sphère de l'eau, dont la surface sphérique se trouve, selon l'ordre de Dieu, interrompue par la surface de la terre ; la terre ferme émerge du milieu de cette interruption ; l'ordre de Dieu était celui-ci : *Ut congregarentur aquæ*... „

“ Contre cette supposition, voici un premier argument : S'il en était ainsi, on pourrait trouver sur la terre des endroits où une certaine masse de terre et une certaine masse d'eau ne tomberaient pas suivant le même chemin. Cette conséquence est contraire à l'expérience : En quelque endroit que l'on élève une certaine masse d'eau au-dessus du sol, elle tombe suivant la même voie qu'une masse de terre mise au même endroit. Et, d'autre part, cette conséquence découle de la supposition faite, car l'eau se mouvrait vers le centre de l'eau et la terre vers le centre de la terre ; et ces deux centres seraient distincts si la sphère de l'eau et la sphère de la terre étaient excentriques. „

„ En second lieu, le contour de la terre habitable serait de figure circulaire. On ne peut admettre cette conséquence, car selon Aristote, en ce second livre des *Météores*, et selon plusieurs autres, la terre habitable est plus allongée de l'est à l'ouest que du nord au sud. Et, d'autre part, on peut prouver que la conséquence découle de l'hypothèse faite, car la portion de sphère qui s'élève au-dessus d'une surface sphérique qui lui est excentrique a un contour circulaire. „

“ Laissant donc de côté cette supposition, il nous faut admettre que la terre et l'eau sont toutes deux concentriques au monde quant à la gravité, c'est-à-dire que la terre et l'eau ont même centre de gravité, mais non point même centre de grandeur. „

“ Pour comprendre cela, il faut remarquer tout d'abord que la terre, dans sa totalité, n'est pas purement un élément simple ; la région que nous habitons est mélangée, et par conséquent

plus légère que la terre pure qui se trouve à l'opposite ; et cela est bien certain, car ceux qui creusent la terre trouvent toujours des matières de natures diverses, du sable, des pierres et d'autres corps, qui sont des mixtes. „

“ Il faut remarquer, en second lieu, que si un corps de gravité non uniforme tombait au centre du monde, c'est son centre de gravité, et non son centre de grandeur, qui se placerait en ce point. Cela est clair. Supposons qu'au centre du monde, il ne se trouve ni terre, ni eau, mais que l'air se trouve répandu jusqu'à ce point; que l'on jette alors un verre d'eau et que cette eau tombe jusqu'au centre ; elle se réunirait autour de ce centre sous forme d'une petite sphère d'eau. Que l'on prenne alors un long clou de fer, muni d'une très grosse tête ; d'un côté, celui de la pointe, ce clou émergerait hors de l'eau réunie autour du centre, mais de l'autre côté, il n'émergerait point, comme on le comprend sans peine. „

“ Il résulte de là que le centre de gravité de la terre est distinct de son centre de grandeur car, selon la première supposition, la terre n'est point de gravité uniforme et la partie mélangée, qui se trouve de notre côté, est la plus légère ; dès lors, la partie de la terre qui se trouve en deçà de son centre de grandeur est moins pesante que celle qui se trouve au-delà ; et comme son centre de gravité coïncide avec le centre du monde, son centre de grandeur se doit trouver en deçà du centre du monde. „

Arrêtons-nous un instant à l'étude de ce texte.

L'auteur y expose la théorie selon laquelle la terre et l'eau forment deux sphères excentriques l'une à l'autre ; sur la foi de Giuntini, nous avions attribué cette théorie à Nicolas de Lyre ; or, elle est ici attribuée, de la manière la plus formelle, à Campanus de Novare ; cette attribution est appuyée d'une citation de Campanus.

Il faut que l'auteur des *Meteorologicorum libri quatuor* ait eu du *Tractatus de Sphœra* de Campanus un texte bien différent de ceux qui ont été publiés ; en ceux-ci (1), on ne trouve nullement la phrase que cite Simon Tunsted et la pensée de Campanus apparaît bien différente de celle qu'il lui prête.

(1) A la p. 59 du tome II, nous avons mentionné deux collections de traités astronomiques où se trouve le *Tractatus de Sphœra* de Campanus ; ces collections ont été imprimées à Venise en 1528 et en 1531. En ces deux collections, le texte du *Tractatus de Sphœra* est le même.

Citons, d'ailleurs, les Chapitres IV et V du *Tractatus de Sphœra* :

“ Chapitre IV. *De la forme naturelle, de la situation et de l'ordre des éléments.* „

“ La situation naturelle des éléments, leur forme et l'ordre dans lequel ils se succèdent sont conformes à ce que je vais dire : Imagine-toi que la terre soit exactement sphérique et que la masse entière de l'eau la recouvre d'une couche sphérique ; que, de même, la totalité de l'air forme une couche sphérique enveloppant la sphère de l'eau ; que le feu, enfin, forme une couche sphérique contenant les trois sphères précédentes. Les quatre éléments seront alors exactement sphériques et exactement concentriques ; ils auront un commun centre qui sera le centre de la terre. Tels sont la situation, la forme et l'ordre naturel des éléments. „

“ Chapitre V. *Pourquoi la sphère de l'eau n'est pas complète.* „

“ En réalité l'eau n'enveloppe pas entièrement la terre en forme de couche sphérique. Il en fut ainsi en vue des choses créées qui, de même que beaucoup de choses nécessaires à leur vie, ne pourraient subsister sans terre ferme. Aussi Celui qui a fait toutes choses, après avoir jeté les yeux sur l'ordre naturel que nous avons décrit ci dessus, voulut-il préordonner les éléments à la fin qu'il se proposait ; il dit alors : Que les eaux qui sont sous le ciel se réunissent en un même lieu et que la terre ferme apparaisse. Il ne faut pas comprendre par là que les eaux se sont gonflées et ont pris la forme d'une sphère élevée vers le ciel, mais que la terre, dans la région qui se montre actuellement émergée s'est soulevée à la façon d'une île, abandonnant sa sphéricité parfaite et produisant une interruption dans la surface sphérique de l'eau. L'eau, en effet, par suite de sa fluidité, ne peut être contenue que par une paroi étrangère ; la terre, au contraire, qui est solide et cohérente, peut être à elle-même sa propre borne ; aussi l'inégalité dont nous venons de parler qui, pour l'eau, était impossible, ne l'était pas pour la terre. Car tout corps pesant se dirige à son centre par la voie qui l'en rapproche le plus ; supposons dès lors que l'eau se soulève de la manière indiquée ci-dessus et excède la surface sphérique qui lui convient : rien n'empêchera les eaux qui se sont gonflées de redescendre jusqu'à cette surface sphérique, car, lorsqu'elles sont contenues en cette surface, elles sont plus proches du centre que lorsqu'elles s'élèvent au-dessus. La partie de la terre qui

est visible a donc émergé du sein de la masse des eaux, de même qu'en plusieurs lieux, des îles émergent au-dessus de la mer; et de même que ces îles, dans les lieux où elles se trouvent, sont plus distantes du centre que ne l'est la surface de la mer, de même, les diverses parties de la terre ferme sont plus éloignées du même centre que les diverses parties de la surface des eaux. La terre ferme tout entière est donc comme une grande île qui se soulève au sein de l'air au-dessus de la surface de l'eau. „

“ Résumons ce que nous venons de dire : La surface de l'universalité des eaux est exactement sphérique ; son centre est le centre de la sphère qui serait naturelle à la terre ; c'est aussi le centre des deux autres sphères élémentaires, à savoir de la sphère de l'air et de la sphère du feu. „

Tout commentaire affaiblirait la clarté et la précision de ces deux chapitres de Campanus ; on n'y saurait trouver trace de la doctrine que Tunsted prête à ce géomètre ; le texte par lequel il justifie cette attribution est vraisemblablement un texte altéré.

L'erreur de l'auteur des *Meteorologicorum libri quatuor* s'est. d'ailleurs, propagée ; on la retrouve, comme nous l'avons dit (1), dans les *Commentaires sur les Physiques* de Gaëtan de Tiène,

D'autres ont attribué à Campanus la doctrine soutenue par Albert de Saxe ; tels Jean Marsile d'Inghen (2) et Jean Baptiste Capuano de Manfredonia (3). Cette attribution n'est pas mieux justifiée que la précédente ; Campanus n'a pas dit un mot de la distinction entre les centres de grandeur et de gravité de la terre.

Si l'auteur des *Meteorologicorum libri quatuor* expose la théorie d'Albert de Saxe sans en citer l'auteur, du moins n'en fait-il pas hommage à quelque physicien qui y soit demeuré entièrement étranger.

L'exposition qu'il donne de cette théorie paraît avoir influé grandement sur l'enseignement des Écoles.

Pour faire comprendre comment le centre de gravité de la terre se trouve au centre du monde sans que son centre de grandeur s'y trouve, il imagine que l'on place en ce centre un long clou à grosse tête. Cet exemple saisissant devait plaire aux maîtres de la Scolastique. Aussi Jean Marsile d'Inghen en fait-il

(1) *Vide suprà*, t. II, p. 63.
(2) *Vide suprà*, t. II, p. 55.
(3) *Vide suprà*, t. II, p. 60, *et infrà*, note M.

usage à son tour lorsqu'il veut exposer (1) la doctrine d'Albert de Saxe que, d'ailleurs, il repousse.

Nous avons vu (2) que Léonard, voulant de même obtenir une représentation de la doctrine d'Albertutius, avait imaginé que la terre prît la forme d'un tétraèdre ; c'est à cette occasion, semble-t-il, qu'il a déterminé le premier le centre de gravité de ce solide.

Le tétraèdre de Léonard a bien pu être suggéré par le clou de Simon Tunsted et de Marsile d'Inghen. Nous en avons déjà fait la remarque ; mais cette remarque peut être appuyée de nouveaux rapprochements. Dans le cahier même où Léonard a substitué un tétraèdre à la terre et où il a déterminé le centre de gravité de ce tétraèdre, nous trouvons deux passages que l'on ne peut lire sans songer à l'exposé de Simon Tunsted.

Voici ces deux passages :

“ *Eau, air, terre* (3).— Que la terre se meuve de quelque côté qu'elle veuille, jamais la surface de l'eau ne sortira de sa sphère, mais elle sera toujours équidistante au centre du monde. Donné que la terre s'éloignât du centre du monde, que ferait l'eau ? Elle resterait autour de ce centre avec une égale épaisseur, mais avec un moindre diamètre que quand elle avait la terre en corps. „

“ *Plomb, goutte de rosée* (4). — Dans la goutte de rosée bien ronde, on peut considérer beaucoup de cas différents de l'office de la sphère de l'eau ; comment elle contient en soi le corps de la terre sans destruction de la sphéricité de sa surface. Que d'abord on prenne un cube de plomb de la grandeur d'un grain de panic, puis qu'avec un fil très fin à lui joint, on le submerge dans cette goutte ; on vera que cette goutte ne perd pas sa première rondeur, bien qu'elle soit agrandie d'autant qu'est le cube enfermé dans cette rosée. „

Au début du cahier F, Léonard nous apprend qu'il avait ne mains un traité des *Météores*. Nous nous sommes efforcés (5)

(1) *Vide suprà*, t. II, p. 55.

(2) *Vide suprà*, t. II, pp. 73-75.

(3) *Les Manuscrits* de Léonard de Vinci, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. F. de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 22, verso.

(4) *Les Manuscrits* de Léonard de Vinci, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien ; Ms. F de la Bibliothèque de l'Institut, fol. 62, verso. — Cf. *Del moto e misura dell' aqua*, lib. I, capit. XIV, p. 280.

(5) P. Duhem, *Thémon le fils du Juif et Léonard de Vinci* (Bulletin Italien, t. VI, avril et juillet 1906).

d'établir que ce traité était le recueil de *Questions* composées par Thémon le fils du Juif. Le rapprochement que nous venons de signaler pourrait mettre en doute l'exactitude de cette conclusion ; il pourrait faire croire que Léonard lisait non pas les *Quæstiones in libros metheororum* de Thémon, mais les *Quatuor libri meteorologicorum* de Simon Tunsted.

L'analogie est souvent très grande entre ces deux traités ; il semble donc malaisé, au premier abord, de décider si Léonard a usé de l'un plutôt que de l'autre ; mais un examen plus attentif permet, croyons-nous, de résoudre la question.

Peut-être Léonard a-t-il eu en mains le traité des *Météores* que l'on devait un jour attribuer à Duns Scot ; mais bon nombre des pensées que nous lisons en ses cahiers n'ont pu être tirées de cet ouvrage ; seule, la lecture des *Questions* de Thémon a pu les suggérer.

Par exemple, le premier livre du traité attribué à Simon Tunsted se termine par deux questions (la XXVe et la XXVIe) qui sont ainsi formulées : *Utrum fontes et fluvii generentur ex aqua pluviali, congregata in visceribus terræ ? — Utrum in concavitatibus terræ generetur aqua fontium ex aëre evaporato ?* De même, le premier livre de l'ouvrage de Thimon se termine par cette question (la XXe) : *Utrum aquæ fontium et aquæ fluviales generentur in concavitatibus terræ ?* Au sujet de l'origine des sources, les deux auteurs soutiennent une même doctrine, qui est d'ailleurs celle d'Albert le Grand. Mais, pour exposer cette théorie, Thémon invoque l'exemple de la distillation produite dans l'alambic, tandis que ni Albert le Grand, ni Simon Tunsted ne fond usage de cette comparaison. Or Léonard a insisté sur cette analogie.

De même, Léonard a vivement argumenté en faveur de la théorie de la marée solaire exposée par Thimon aux deux premières questions de son second livre. Lorsqu'en la seconde question de son second livre, Simon Tunsted traite du flux et du reflux, il ne fait aucune allusion à cette théorie ; il se borne à emprunter à Robert Grosse-Teste l'explication des marées par l'influence de la lune.

Il est donc possible que Léonard ait lu les *Meteorologicorum libri quatuor* que le XVIIe siècle devait, en dépit de toute évidence, attribuer à Jean Duns Scot ; mais à coup sûr, il a lu et et médité l'ouvrage remarquable dont celui-là s'était inspiré, les *Quæstiones in libros metheororum* de Thémon le fils du Juif.

J.

L'influence d'Albert de Saxe et Nicole Oresme.

La théorie de la gravité formulée par Albert de Saxe et les conséquences qu'il en tirait touchant la disposition relative de la terre ferme et de l'eau eurent la plus grande influence, jusqu'à la fin du xvie siècle, sur les opinions des philosophes et des physiciens. Cette influence s'exerçait déjà sur les maîtres de l'Université de Paris qui furent les contemporains d'Albert de Saxe. Nicole Oresme nous en est garant.

Nicole Oresme, né vers 1320 en Normandie, mort en 1382, devint en 1355, c'est-à-dire à l'époque où l'enseignement d'Albert de Saxe brillait de tout son éclat, grand maître du Collège de Navarre ; il fut, comme l'on sait, précepteur du dauphin, plus tard Charles V, puis, en 1377, évêque de Lisieux.

Cet esprit universel, ce grand mathématicien auquel on doit la première idée des coordonnées, nous a laissé un petit traité d'astronomie (1) écrit en français et destiné à enseigner les éléments de cette science à ceux que le xviie siècle eût appelés " les honnêtes gens „, que notre siècle nommerait " les gens du monde. „

Oresme, d'ailleurs, a marqué, dans un *Prologue au lecteur*, l'objet de son livre : " La figure et la disposition du monde, „ dit-il, " le nombre et ordre des éléments et les mouvemens des corps du ciel appartiennent à tout homme qui est de franche condition et de noble engin. Et est belle chose, delectable, proffitable et honneste... Duquel je vueil dire en françois généralement et plainement ce qui est convenable à sçavoir à tout homme, sans me trop arrester ès démonstrations et ès subtilitez qui appartiennent aux astronomiens. „

Or, au Chapitre I du *Traicté de la Sphère,* Chapitre qui a pour titre : *De la figure du monde et de ses parties principales,* voici ce que nous lisons :

" Après la terre est l'eau, ou la mer : mais elle ne cœuvre pas toute la terre ; car aulcune partie de la terre n'est pas de si

(1) *Traicté de la sphère,* translaté de latin en françois par Maistre Nicole Oresme, très docte et renommé philosophe. On le vent à Paris en la rue Judas chez Maistre Simon du Bois imprimeur. *(In fine :* Imprimé à Paris par Maistre Simon du Bois). — Ce petit volume, imprimé en caractères gothiques, ne porte ni date d'impression, ni pagination.

pesante nature comme l'aultre. Ainsi comme nous voions que estaing ne poise pas tant comme plomb. Et pource, la partie moins pesante est plus haulte et plus loing du centre ; et descouverte d'eau ; affin que les bestes y puissent vivre, et est ainsi comme la face et le visaige de la terre, tout descouvert ; fors que parmy ya aulcunes petites mers, braz de mer et fleuves ; et tout le demourant est ainsi comme enchapperonné, vestu, et affublé de la grant mer. „

Ainsi, grâce à Nicole Oresme, avant la fin du xiv[e] siecle, certains corollaires des doctrines d'Albert de Saxe avaient cessé d'être l'apanage des seuls " astronomiens „ pour tomber dans le domaine de tous les hommes " de franche condition et de noble engin. „

K.

Sur quelques passages des XIV Quæstiones de Pierre d'Ailly.

Au Chapitre XV (Tome II, pp. 58-60), nous avons dit quelques mots de l'important écrit de Pierre d'Ailly qui a pour titre : *In sphæram Johannis de Sacro Bosco subtilissimæ XIV quæstiones ;* notre attention a été attirée, en particulier, sur l'une de ces quatorze questions, sur celle qui est classée la cinquième et qui est formulée en ces termes : *Quæritur utrum cœlum et quattuor elementa suit sphærica ?* Nous y avons vu le célèbre cardinal reproduire presque textuellement des passages entiers d'Albert de Saxe ; notamment, c'est à ce maître qu'il emprunte cette remarque si importante : " On peut faire l'expérience de la rotondité terrestre de la manière suivante : Qu'un homme se déplace à la surface de la terre, à partir d'un certain point, vers le midi, qu'il voie de quelle quantité la hauteur du pôle aura changé et qu'il mesure le chemin parcouru ; puis qu'il continue son chemin jusqu'à ce que la hauteur du pôle ait subi une seconde variation égale à la première ; si le second chemin parcouru est égal au premier, il faut nécessairement que la terre soit phérique. „

Cette remarque, qui contient en germe la Géodésie tout entière, semble bien une idée originale d'Albert de Saxe (*Vide suprà*, t. II, p. 46) ; les *XIV Quæstiones* ont assurément contribué, autant et peut être plus que les *Questions sur le De Cœlo* de son auteur, à la faire connaître aux astronomes.

Il est, cependant, un point essentiel où Pierre d'Ailly s'écarte de l'enseignement d'Albertutius ou, du moins, de ce qui fut son enseignement définitif,

Pierre d'Ailly se demande, au cours de sa Ve Question, si la terre est au milieu du firmament ; il remarque, à ce propos, que " ces mots peuvent être entendus dans quatre sens différents ; ils peuvent signifier : 1° Que le centre du firmament coïncide avec le centre de grandeur de la terre ; 2° qu'il coïncide avec le centre de gravité de la terre ; 3° qu'il coïncide avec le centre de gravité d'un certain aggrégat dont la terre fait partie ; 4° que la terre est entourée de toutes parts par le firmament. „

" Ces remarques faites „, ajoute le célèbre évêque de Cambrai, " posons nos conclusions „.

" Première conclusions : Le centre de gravité de la terre ne coïncide pas avec son centre de grandeur, car la terre n'est point d'uniforme gravité ; en effet, la partie que les eaux ne couvrent pas et sur laquelle passe le soleil est rendue plus légère par la chaleur solaire ; au contraire, la partie couverte par l'eau est alourdie par le froid de l'eau. „

" Seconde conclusion : Le centre de gravité de la terre n'est pas au milieu du firmament. Cela est évident ; si l'on partageait, en effet, la terre en deux parties qui fussent de même gravité, l'ensemble de la partie couverte par l'eau et de l'eau qui l'entoure repousserait l'autre partie jusqu'à ce que le centre de gravité de l'aggrégat tout entier fût au centre du monde. „

" Troisième conclusion : La terre n'a point un centre de grandeur placé au centre du firmament, car elle serait alors entièrement recouverte par les eaux... Il faut donc, en la terre, imaginer trois centres qui demeurent réellement distincts : Le premier est le centre de grandeur, le second le centre de gravité et le troisième le centre du firmament. Il résulte de ce qui précède que la terre ne peut être dite occuper le centre du firmament ni au premier sens, ni au second ; elle ne l'occupe ni par son centre de grandeur, ni par son centre de gravité. „

" Quatrième conclusion : Le centre de gravité de l'aggrégat formé par la terre et par l'eau se trouve au centre du firmament ; cela est évident, car cet aggrégat forme un corps grave libre de tout empêchement ; il se meut donc jusqu'à ce que son centre de gravité se trouve au centre du monde, comme l'exige la nature du grave. Dès lors, puisque le centre de gravité de l'aggrégat formé par la terre et par l'eau est au milieu du monde, il suit de nos remarques préliminaires que cet aggrégat peut être dit

situé au milieu du monde. En second lieu, on voit que la terre peut être dite, au troisième sens de ces mots, située au milieu du firmament, puisqu'elle fait partie d'un aggrégat qui est au milieu du monde ; et l'on en peut dire autant de l'eau. „

“ Dernière conclusion : La terre et l'eau peuvent être dites situées au milieu du monde, en prenent ces mots au quatrième sens. „

En ces passages, Pierre d'Ailly se déclare nettement pour une doctrine qu'Albert avait émise dans ses *Questions sur la Physique* (*Vide supra*, t. II, p. 27), mais qu'il avait rejetée dans ses *Questions sur le De Cœlo* (*Vide supra*, t. II, p. 28) ; cette même opinion avait failli ravir l'adhésion de Thimon (*Vide supra*, t. II, p. 51). Nous avons vu (Chapitre XV, 7) quel rôle cette doctrine, reprise par Mauro de Florence, avait joué dans les discussions scientifiques du XVIe siècle ; il est vraisemblable que la grande autorité de Pierre d'Ailly, que la réputation de ses *XIV Quæstiones* contribuèrent à la vogue étrangement prolongée dont elle a joui.

Il est un autre point où la doctrine de Pierre d'Ailly semble se séparer de l'enseignement d'Albert de Saxe. En la même cinquième question, nous lisons ce qui suit :

“ On peut émettre un doute : Cet aggrégat de terre et d'eau, qui se trouve naturellement en repos au milieu du monde, est-il doué de gravité actuelle ? A ce doute on peut, au moins d'une manière probable, répondre par l'affirmative. On peut s'en persuader, tout d'abord par la raison suivante : Placé hors de son lieu naturel, cet aggrégat serait grave actuellement ; or, il ne perd pas cette qualité en gagnant son lieu naturel ; il demeure donc doué de gravité actuelle lorsqu'il se trouve en ce lieu. Il ne servirait à rien d'objecter que cette gravité ne tire alors ni vers le haut, ni vers le bas. Il n'en est pas moins certain que la gravité actuelle demeure et qu'elle continue à exercer actuellement son office de gravité. Voici un argument qui le prouve : Si l'aggrégat formé par la terre et l'eau n'était pas actuellement grave, une petite mouche serait de force à déplacer cet aggrégat ; cette conséquence est inacceptable et, cependant, elle se tire logiquement des prémisses ; la mouche, en effet, dispose, pour pousser ou pour tirer, d'une certaine puissance ; l'aggrégat, au contraire, n'opposerait aucune résistance à cette impulsion si la gravité n'agissait point... Il faut donc imaginer que la gravité ou la légèreté a deux offices ; l'un de ces deux offices consiste à mouvoir le corps en lequel elle se trouve lorsque ce corps

est placé hors de son lieu naturel ; l'autre est de conserver et de maintenir ce corps en son lieu lorsqu'il s'y trouve. Qu'elle exerce l'un ou l'autre de ces offices, la gravité ou la légèreté doit être dite actuelle. Notre aggrégat de terre et d'eau est donc actuellement grave. „

La divergence entre Pierre d'Ailly et Albert de Saxe est surtout une querelle de mots ; ce que celui-ci nomme gravité *habituelle* ou *potentielle,* celui-là le veut, peu logiquement d'ailleurs, considérer comme une gravité *actuelle ;* mais le fond même des idées ne diffère pas entre les deux auteurs.

La concordance entre eux est absolue au sujet du continuel mouvement que la gravité doit imprimer à la terre ; voici, en effet, comment s'exprime le cardinal Pierre d'Ailly en sa troisième question, ainsi formulée : *Quœritur utrum motus primi mobilis ab oriente in occidentem circa terram sit uniformis ?*

“ Il nous faut supposer, en premier lieu, que le centre de gravité de la terre se trouve constamment au centre du monde ; et cela est certain ; tout grave, en effet, tend au centre du monde ; le corps le plus grave doit donc avoir son centre au centre du monde. En second lieu, si l'on imaginait que la terre fut partagée en deux portions d'égal poids par un plan contenant le centre du monde, ces deux parties se comporteraient l'une par rapport à l'autre comme deux poids en équilibre ; si l'on ajoutait à l'une de ces parties un faible poids, elle descendrait en repoussant l'autre. En troisième lieu, si la terre était partagée en deux parties d'égal volume, ces deux parties ne pèseraient pas également ; en effet, une partie de la terre est continuellement exposée au soleil, en sorte qu'elle s'échauffe et s'allège par l'effet de la chaleur solaire ; l'autre partie, constamment submergée, est alourdie par le froid de l'eau : la moitié de la terre dont la surface est émergée est donc moins lourde que l'autre. Enfin, on admet que des parties détachées de la terre ferme sont incessamment entraînées par les eaux vers la mer ; on admet aussi que certaines parties de la terre, transformées en poussière par la sécheresse, sont transportées par les vents et, finalement, sont précipitées à la mer. „

“ Ces suppositions faites, on peut énoncer cette première conclusion : Chaque partie de la terre se meut continuellement d'un mouvement rectigne. En effet, une moitié de la terre devient sans cesse plus lourde que l'autre ; dès lors, en vertu de nos deux premières suppositions, sans cesse la première moitié pousse la seconde. Il résulte de là que la partie de la terre qui

est au centre à une certaine époque, se trouvera à la surface à une autre époque. „

En ce que nous venons de citer, tout est emprunté à Albert de Saxe, tout, jusqu'à cette remarque que l'érosion déplace sans cesse le centre de gravité de la terre.

Des citations de Marsile d'Inghen (*Vide supra*, t. II, pp. 56-57) nous ont montré que les traités de Statique produits par l'École de Jordanus n'étaient point inconnus dans les Universités en la seconde moitié du XIVe siècle. Ils ne l'étaient pas d'avantage en ces années qui terminaient le XIVe siècle et commençaient le XVe; le témoignage de Pierre d'Ailly nous en est garant.

En la première de ses *Quatorze questions*, l'évêque de Cambrai est amené à diviser les sciences mathématiques en cinq parties principales : La Géométrie, l'Arithmétique, la Musique, la Perspective et l'Astrologie ; contre cette division s'élèvent certains doutes qu'il examine ; en particulier, on peut se demander " à quelles sciences se rapportent certains petits traités, comme le traité *de ponderibus* et le traité *de speculis* ; à quoi l'on doit répondre que le traité *de ponderibus* dépend de l'Astrologie et le traité *de speculis* de la Perspective. „

Ainsi voyons-nous par les témoignages de Roger Bacon, d'Albert de Saxe, de Marsile d'Inghen, de Pierre d'Ailly, voire par le traité de Blaise de Parme, que la Statique a, pendant plusieurs siècles, constitué, dans la Science médiévale, une sorte de canton spécial ; cette *Scientia de ponderibus* demeurait quelque peu en dehors du courant principal de la Science physique ; le *Tractatus de ponderibus* ne se trouvait point, en général, au nombre des traités sur lesquels portait l'enseignement des Universités; les adeptes de cette science n'étaient point, sans doute, parmi les maîtres de la Faculté des arts ; on les nommait collectivement *Auctores de ponderibus* et leurs écrits étaient attribués par les copistes à Euclide ou à Jordanus ; mais, du moins, les idées contenues dans ces écrits n'étaient-elles ni ignorées, ni méprisées des docteurs de la Scolastique.

L.

Sur le **Tractatus de ponderibus** de Blaise de Parme.

Nous avons remarqué (t. I, p. 150) qu'en son *Traité des poids*, Blaise de Parme avait formulé la proposition suivante : *Lors-*

qu'on éloigne du centre du monde une balance dont les bras égaux sont chargés de poids égaux, ces poids semblent d'autant plus lourds que la balance est placée plus haut. Pelacani prouve cette proposition en remarquant que la direction selon laquelle chacun des poids tend à tomber fait, avec la verticale passant par le point d'appui du fléau, un angle d'autant plus aigu que la balance est plus loin du centre du Monde.

Cette proposition eut, d'ailleurs, un sort digne de remarque dans l'histoire de la Statique ; Roberval et Etienne Pascal ont repris, dans leur discussion avec Fermat (t. II, p. 172), des considérations fort analogues ; Descartes s'est efforcé de démontrer à sa manière (t. II, p. 181) la proposition même de Blaise de Parme et Mersenne a reproduit (t. II, p. 192) les raisonnements du grand philosophe.

Nous avions cité (t. II, p. 58) un passage d'Albert de Saxe où, repoussant une opinion de Roger Bacon, le maître ès-arts de l'Université de Paris semblait préparer la proposition que Blaise de Parme devait formuler plus tard.

Nous pouvons aller plus loin ; non seulement Albert de Saxe a entrevu le théorème qui nous occupe, mais il l'a formellement connu ; en outre, il n'en est pas l'auteur ; il l'attribue lui-même à ces *Auctores de ponderibus* dont les noms nous demeurent inconnus et dont les œuvres sont collectivement attribuées à Jordanus. Voici, en effet, ce que nous lisons en une *Question* (1) d'Albert de Saxe sur le *De Cœlo et Mundo :*

“ Les *Auctores de ponderibus* disent que plus un corps est distant du centre, plus il est lourd *secundum situm.* „

Ce passage se trouve inséré en une question qui a pour l'histoire de la Dynamique une importance capitale. Albertutius y examine la raison pour laquelle le mouvement naturel est un mouvement accéléré. Après avoir exposé et discuté les diverses réponses que l'on a proposé de donner à cette question, il se range à l'avis qui attribue cette accélération à une accumulation d'*impetus.* Il est alors amené à entrevoir la loi d'inertie et son application à la conservation des mouvements célestes. D'autre part, il cherche selon quelle loi croît la vitesse d'un corps qui

(1) *Questiones subtilissime* Alberti de Saxonia *in libros de Celo et Mundo.* Colophon : Expliciunt questiones... Impresse autem Venetiis Arte Boneti de Locatellis Bergomensis, impensa vero nobilis viri Octaviani Scoti Modoetiensis, Anno salutis nostre 1492, nono Kalen. novembris. Ducante inclito principe Augustino Barbadico. — In librum II quæstio XIIII, *in fine.*

tombe ; il se demande si elle est proportionnelle au temps écoulé ou à l'espace parcouru, mais il rejette ces deux lois, qui feraient croître la vitesse au-delà de toute limite en même temps que la longueur de la chute, pour en proposer une troisième selon laquelle la vitesse tende vers une limite finie ; il laisse, d'ailleurs, entrevoir que la résistance du milieu est la raison qui lui fait préférer cette dernière solution aux deux premières.

Par un hasard étrange, Georges Lokert a omis cette question si importante dans les deux éditions des *Quæstiones in libros de Cœlo et Mundo* qu'il a données à Paris en 1516 et 1518.

Le passage que nous avons cité n'est point sans importance pour l'histoire de la *Statique ;* il nous enseigne que la proposition donnée par Blaise de Parme se trouvait déjà dans un traité *De ponderibus* composé avant 1350; or elle ne se rencontre dans aucun des écrits de l'École de Jordanus que nous ayons consultés ou dont nous ayons rencontré une description. Ces écrits ne composent donc pas la collection complète des ouvrages attribuables aux *Auctores de ponderibus.*

M.

Sur la forme de la terre et des mers selon Jean-Baptiste Capuano de Manfredonia.

Nous avons déjà cité (t. II, p. 60) le Commentaire au traité *de la Sphère* de Jean de Sacro-Bosco, composé par Jean-Baptiste Capuano de Manfredonia ; nous avons noté l'indéniable influence exercée sur cet auteur par les doctrines d'Albert de Saxe touchant le centre de gravité. Nous voudrions, en cette note, insister à nouveau sur quelques passages de ce Commentaire.

Il convient, tout d'abord, de reporter la composition de cet ouvrage à une date un peu plus récente que nos dires ne le pourraient faire supposer ; parlant, en effet, de la forme arrondie de l'ombre de la terre dans les éclipses de lune, Jean-Baptiste Capuano cite l'éclipse qu'il a observée le 15 août 1505, en sorte que son Commentaire est sûrement postérieur à cette époque.

Capuano semble avoir été un esprit critique et paradoxal, préoccupé de trouver des objections, parfois bien étranges, aux raisonnements de ses prédécesseurs. Sacro Bosco, par exemple,

comme tant d'autres avant lui, prouve la rotondité de la mer en constatant qu'un signal côtier n'est pas aperçu du pont d'un navire, tandis qu'il est vu de la hune ; Capuano conteste la valeur de cette observation en faveur de la rotondité des eaux ; il l'explique par la présence du brouillard à la surface de la mer.

Nous le voyons également nier que la forme circulaire de l'ombre qui éclipse la lune prouve quoique ce soit au sujet de la forme des mers ; il soutient, en effet, que l'eau ne porte point ombre, opinion étrange qu'Alexandre Piccolomini reproduira. Il admet que les éclipses de lune prouvent la sphéricité de la terre ferme, dont le centre coïncide avec le centre du monde ; quant à l'eau, elle est aussi de surface sensiblement sphérique, mais elle est beaucoup plus grande que la terre. Il ne faut pas suivre l'opinion de ceux qui prétendent (1) que l'eau est seulement en petite quantité, qu'elle est divisée en masses contenues dans les vallées et les dépressions du sol, que l'aggrégat de la terre et de l'eau forme sensiblement une sphère unique et que le centre de cette sphère est au centre du monde.

Nous devons donc ranger Jean-Baptiste Capuano de Manfredonia, à la suite de Nicolas de Lyre et de Grégoire Reisch, parmi les partisans de la doctrine singulière dont Mauro de Florence, Antonio Berga et Agostino Michele seront les défenseurs acharnés.

Une dernière remarque : Nous avons vu Capuano, après avoir exposé la théorie qui pose, en la terre, un centre de gravité distinct du centre de grandeur, et qui s'en sert pour expliquer l'existence de continents immergés, ajouter ces mots : " Hæc causa attribuitur Campano „. Nous avons dit aussi que rien, dans le Commentaire de Campanus au traité *De la Sphère* de Sacro-Bosco ne justifiait cette assertion ; en sorte que si Campanus est vraiment l'auteur de cette doctrine, il faut qu'il l'ait exposée en quelque ouvrage inconnu de nous et, chose plus incroyable, qu'il en ait fait entière abstraction lorsqu'il composa son Commentaire.

Mais il y a plus. L'exposé de cette doctrine des deux centres de la terre est précédée, dans le Commentaire de Capuano, des lignes que voici : " De ce fait que l'eau ne couvre pas la terre de toutes parts... on assigne habituellement des causes efficientes multiples, comme le dit le Conciliateur, en l'article premier de la 13e Différence ; et de ces causes, voici la première... „

(1) De ce nombre est, nous l'avons vu (t. II, p. 55), Marsile d'Inghen.

Il semble donc que Capuano emprunte l'exposé de la théorie des deux centres à Pierre d'Abano, surnommé le *Conciliateur des différences* ; et comme celui ci, né en 1250, mourut en 1316, il en faudrait conclure que la théorie des deux centres avait, bien avant Albert de Saxe, pris sa forme définitive. Il ne nous a pas été possible de consulter le célèbre écrit de Pierre d'Abano : *Conciliator philosophorum et præcipue medicorum* : nous n'avons donc pu acquérir à ce sujet une certitude complète. Mais si la distinction entre le centre de grandeur et le centre de gravité de la terre était déjà formellement indiquée dans l'ouvrage de Pierre d'Abano, il serait surprenant qu'aucun des auteurs, antérieurs à Albert de Saxe, que nous avons pu consulter, n'en eût fait mention ; il serait surprenant, en particulier, qu'elle parût inconnue à Jean de Jandun, qui enseigna à l'Université de Padoue quelques années après Pierre d'Abano (1). Il nous paraît plus vraisemblable de croire que Pierre d'Abano s'est borné à exposer la doctrine de Campanus et que Capuano a substitué à cette doctrine la théorie d'Albert de Saxe, sans remarquer tout ce que celle-ci ajoutait à celle-là.

N.

Sur la théorie du plan incliné imaginée par Léonard de Vinci.

A plusieurs reprises, nous avons insisté (2) sur une curieuse démonstration de la loi du plan incliné imaginée par Léonard de Vinci ; cette démonstration, qui n'est pas sans analogie avec le raisonnement de Pappus, consiste à considérer la puissance qui fait rouler un disque ou une sphère sur le plan incliné. Nous avons, en outre, cité (3) un passage d'Albert de Saxe où le principe de cette démonstration se trouve, pour ainsi dire, en germe ; toutefois, nous nous sommes gardé d'affirmer que ce passage eût réellement inspiré Léonard de Vinci ; il est tiré, en effet, des *Questions sur la Physique d'Aristote* rédigées par Albert de

(1) Jean de Jandun était encore à Paris en 1324 [Voir : Denifle et Chatelain, *Chartularium Universitatis Parisiensis* ; tomus II, sectio prior, p. 303 (en note) ; Parisiis, 1891.]

(2) Voir : Tome I, pp. 28 et 190.

(3) Voir : Tome II, p. 31.

Saxe ; or, si le témoignage même de Léonard nous apprend qu'il avait en mains le *Tractatus proportionum* et les *Quæstiones in libros de Cœlo* d'Albertutius, si ses notes font à ces deux ouvrages de nombreuses allusions, rien ne nous révèle que le grand peintre ait eu connaissance des *Quæstiones in libros Physicorum* (1).

Nous avons trouvé ailleurs un passage qui a pu également suggérer au Vinci sa théorie du plan incliné. Ce passage se trouve dans le traité *De distributionibus ac de proportione motuum* (2) d'Alessandro Achillini, célèbre professeur de Bologne.

A une règle qu'il a posée, Achillini objecte le dispositif suivant (3) : " Deux balles de même poids sont placées au contact de deux surfaces planes. L'une de ces balles touche une surface plane qui fait avec la terre un angle droit ; d'ailleurs, je suppose plane la surface de la terre sur laquelle la balle tombe verticalement. L'autre balle touche une autre surface plane qui fait avec la terre un angle aigu. "

Au sujet de ce dispositif, Achillini fait (4) l'observation suivante :

" Le plan vertical le long duquel la balle descendrait verticalement n'empêche point la descente ; au contraire le plan qui n'est pas vertical empêche la descente et imprime à la balle un mouvement de rotation ; dès lors, le plan qui est voisin d'être vertical met un moindre obstacle au mouvement que le plan plus éloigné du vertical ; il met un moindre obstacle au mouvement, mais il imprime à la balle un mouvement de rotation plus

(1) De ces *Questions*, nous n'avons pu consulter aucune édition qui fût antérieure à 1516. Cependant, dans l'édition qu'il en donna à Paris, en cette année 1516, Georges Lokert déclare qu'elles avaient été déjà imprimées par les Vénitiens. En effet, l'édition qui en fut imprimée à Venise, en 1516, par Boneto Locatelli, est précédée d'une épître dédicatoire, datée de 1504, dont la lecture montre que ce même ouvrage avait dû être imprimé en cette année 1504. En outre, selon le *Repertorium bibliographicum* de Hain, il aurait été imprimé à Padoue dès 1493.

(2) Ce traité fut imprimé à Bologne, en 1494, par Benedictus Hectoris. Hieronymus Scotus l'a réimprimé, sous le titre : *De proportione motuum quæstio*, dans les trois éditions des : Alexandri Achillini Bononiensis *Opera omnia* qu'il donna à Venise en 1545, 1551 et 1568. L'édition des *Opera omnia* donnée à Venise, en 1508, sans nom d'imprimeur, ne comprend pas ce traité.

(3) Alexandri Achillini *Opera omnia*, éd. 1545, fol. 194, col. *b*.

(4) Id., *ibid.*, *loc. cit.*, fol. 194, col. *c*.

rapide que ne ferait le plan dont l'angle avec le sol serait plus distant de l'angle droit. „

On ne saurait méconnaître l'affinité qui existe entre la pensée qu'exprime ce passage et le principe de la théorie de Léonard. Or, ce qui rend ce rapprochement intéressant, c'est que Léonard a sûrement eu en mains le *De proportione motuum* d'Achillini ; il l'avait emprunté à Fazio Cardano, père du célèbre Jérôme Cardan, ainsi qu'il nous l'apprend lui-même (1) : " Le proporzioni d'Alchino colle considerazioni di Marliano da messer Fazio. „

O.

Sur la découverte, faite par Léonard de Vinci, de la loi de composition des forces concourantes.

Au § 2 du Chapitre VIII (2), nous avons montré comment Léonard de Vinci avait donné, le premier une solution très élégante du problème de la composition des forces ; mais il nous avait semblé que ce grand génie avait méconnu sa découverte au moment même où il venait de l'accomplir et qu'il était tout aussitôt revenu à une solution erronée du problème ; nous y avions vu une nouvelle preuve de l'inconstance et de l'indécision que l'on a souvent et justement reprochées à son puissant esprit.

L'accusation, dans ce cas, était injustifiée ; elle s'évanouit si l'on suppose que le cahier E, comme plusieurs autres registres laissés par Léonard, a été écrit non-seulement de gauche à droite, mais encore *à rebours,* suivant l'ordre inverse de celui que marque la pagination.

Or nous avons la certitude qu'il en est bien ainsi, du moins dans la partie du cahier E où Léonard découvre la loi de composition des forces concourantes.

Nous trouvons, en effet, du feuillet 69 au feuillet 71 toutes les notes qui ont trait à cette mémorable invention ; et voici deux

(1) *Il Codice Atlantico* di Leonardo da Vinci *nella Biblioteca Ambrosiana di Milano*, riprodotto e pubblicato dalla Regia Accademia dei Lincei ; Ulrico Hœpli, Milano, MCCCCLXXXXIV, fol. 225 recto *b* (34). — Cf. : Mario Baratta, *Leonardo da Vinci ed i Problemi della Terra ;* Torino, 1903, p. 9.

(2) *Vide suprà,* t. I, pp. 170-181.

faits qui prouvent sans conteste que pour suivre la pensée de Léonard, il faut lire a rebours cette partie du cahier.

A la fin du *verso* du feuillet 61, Léonard, ne pouvant achever un raisonnement, écrit : “ Tourne le papier. „ En haut du *recto* du même feuillet, nous lisons : “ Ici suit ce qui manque derrière au pied. „

Au verso du feuillet 77, un passage biffé est suivi de cette note, qui semble mise après coup : “ Ceci est mieux dit à la troisième page *après* celle-ci „. Or, c'est au recto du feuillet 75 que nous trouvons une nouvelle rédaction du même passage, précédée de ces mots : “ Ici se finit ce qui manque à la troisième page *avant* celle-ci. „

Ces indications nous obligent à lire le cahier E en sens inverse de la pagination. Alors, en l'étude du grave problème que soulève la loi de composition des forces concourantes, nous voyons le génie de Léonard passer graduellement de l'erreur à une vue de plus en plus claire de la vérité et adhérer fermement à celle-ci après qu'il l'a découverte.

En un autre écrit (1), nous avons montré comment la lecture du traité *De ponderibus* composé par son Précurseur avait conduit Léonard à méditer sur la composition des forces concourantes.

P.

Sur la forme de la terre et des mers selon Jean Fernel.

Nous avons vu (t. II, p. 55) que Marsile d'Ingen, s'était refusé à admettre la doctrine selon laquelle la surface des mers forme une surface sphérique unique ayant pour centre le centre de l'Univers ; à cette doctrine il préférait cette opinion : l'eau forme un certain nombre de masses isolées, contenues dans les cavités de la terre ferme.

Cette opinion fut certainement partagée, au début du xvie siècle, par plusieurs astronomes et physiciens. De ce nombre il nous faut compter l'astronome et médecin français Jean Fernel (1497-1558) qui, le premier parmi les modernes, tenta de mesurer un arc de 1° du méridien terrestre ; il eut le bonheur d'obtenir un résultat exact par un procédé qui l'était fort peu.

(1) *La Scientia de ponderibus et Léonard de Vinci* (*Études sur Léonard de Vinci*, Première série, Paris, 1907).

Dans le traité d'Astronomie (1) où il expose sa mesure géodésique, Fernel étudie tout d'abord la disposition de la terre ferme et des mers (2). Il donne un résumé fort exact de la théorie d'Albert de Saxe qui, dit-il, est surtout en faveur parmi les philosophes modernes *(philosophi juniores)* : il rappelle que, selon cette théorie, la terre a deux centres distincts, l'un de grandeur, l'autre de gravité ; que celui-ci est au centre de l'Univers tandis que celui-là en est notablement éloigné, car la partie immergée de la terre est alourdie par son humidité, tandis que la partie découverte est sans cesse desséchée par le Soleil.

Notre auteur n'accepte pas cette doctrine ; selon une opinion qu'il prête à Aristote, il veut que la surface de la terre ferme et la surface des mers forment à peu près une surface sphérique unique. D'ailleurs, les terres, les nombreuses îles que les navigateurs ont découvertes dans les régions les plus diverses ne prouvent-elle pas que la surface de la terre ferme n'est jamais beaucoup plus éloignée du centre que la surface de la mer ? Il faut donc se représenter la terre comme un globe de bois où l'on aurait creusé un certain nombre de cavités et admettre que l'eau remplit ces cavités.

Si l'on menait un plan par le centre de l'Univers, ce plan couperait la terre en deux parties ; ces deux parties n'auraient peut être pas exactement même volume, l'une pouvant être creusée de plus de cavités que l'autre ; mais elles pèseraient également ; celle, en effet, qui serait creusée de cavités pleines d'eau serait alourdie par l'humidité et par le poids de l'eau dont il faudrait tenir compte.

La terre, ainsi disposée, demeure absolument immobile ; par là se trouve rejetée l'opinion de nos philosophes " selon laquelle, contrairement à la doctrine d'Aristote, la terre pouvait se mouvoir hors du centre. „

(2) Joannis Fernelii Ambianatis *Cosmotheoria*, libros duos complexa. — Prior, mundi totius et formam et compositionem : ejus subinde partium (quæ elementa et cælestia sunt corpora) situs et magnitudines : orbium tandem motus quosvis solerter referat. — Posterior ex motibus, siderum loca et passiones disquirit : interspersis documentis haud pænitendum aditum ad astronomicas tabulas suppeditantibus. Hæcque seiunctim tandem expedite præbet Planethodium. — Cuique capiti, perbrevia, demonstrationum loco, adjecta sunt scholia. Parisiis, in ædibus Simonis Colini, 1528.

(1) Cosmotheoriæ liber primus, et elementorum, et cælestium corporum magnitudines, situs, motusque universim aperiens. — De omnimoda terræ et maris dispositione, cap. I (Joannis Fernelii Ambianatis *Cosmotheoria*, fol. 1).

Il est clair que Fernel n'est pas de ceux qui croient le volume de l'eau supérieur au volume de la terre ; en effet, il combat vivement (1) cette opinion et celle qui range en progression géométrique les volumes des éléments.

Q

Sur la forme de la terre et des mers selon Melanchthon.

On sait que Philippe Mélanchthon est un des premiers qui aient combattu le système de Copernic au nom de la théologie. Dans le livre et dans le chapitre mêmes (2) où il attaquait le système héliocentrique, Mélanchthon admettait très exactement, touchant la disposition de la terre et des mers, la doctrine formulée par Copernic. Voici, d'ailleurs, en quels termes il exposait son opinion :

“ On doit avertir ici le lecteur que l'ensemble de la terre et de l'eau est regardé comme un globe unique et en forme un en réalité. Et bien que beaucoup de gens distinguent entre le centre de grandeur et le centre de gravité, il n'y a en vérité qu'un seul centre, qui est à la fois centre de grandeur et centre de gravité ; le continent qui a été récemment découvert prouve que la terre n'est point entièrement entourée par l'Océan, comme le supposaient les anciens. Il n'est pas exact non plus que la sphère de l'eau soit dix fois plus grande que la sphère de la terre ; ils supposaient qu'il en fût ainsi parce qu'ils croyaient qu'un certain volume de terre pouvait engendrer dix semblables volumes d'eau. Car les sphères sont dans le rapport des cubes de leurs diamètres. „

R

Sur Tartaglia.

M. Moritz Cantor et M. R. Marcolongo ont eu l'obligence, dont je les remercie, de me signaler l'existence de certains documents

(1) Fernel, *loc. cit.,* De aeris ignisque situ, Cap. II.

(2) *Doctrinæ physicæ elementa, sive initia,* Philippo Melanchthone auctore ; post omnes alias editiones ex postrema autoris recognitione, cum locuplete rerum et verborum in his memorabilium indice. Lugduni, apud Joan. Tornaesium et Gul. Gazcium, MDLII. — *Quis est motus mundi,* p. 60. — La première édition de cet ouvrage est de 1549.

au sujet de Nicolò Tartaglia ; ces documents m'étaient demeurés inconnus, ou même n'étaient point encore publiés, lorsque fut écrite sur ce géomètre la notice qui figure au tome I (pp. 195 197).

Le Prince Boncompagni, qui a retrouvé le testament de Tartaglia, a prouvé (1) que celui-ci était mort le 14 décembre 1557.

M. Vincenzo Tonni-Bazza a présenté au Congrès international des Sciences historiques, tenu à Rome en 1903, un travail (2) qui contient bon nombre de renseignements, inédits jusqu'ici, sur la vie et les œuvres de Tartaglia.

S.

Sur l'orthographe du nom de Guidobaldo dal Monte.

Nous avons constamment nommé le protecteur de Galilée : *Guido Ubaldo del Monte* ; nous suivions en cela l'exemple de Pigafetta qui, du vivant du Marquis del Monte, a publié une traduction italienne de sa *Mécanique* ; mais, disions-nous (Tome I, p. 209), " d'autres auteurs orthographient autrement ce nom ; M. Favaro, notamment, écrit : *Guidobaldo dal Monte*. „

M. Favaro nous a fait l'honneur de nous adresser, à ce sujet, quelques remarques fort intéressantes ; nous demandons au très savant éditeur des œuvres de Galilée la permission de les transcrire ici.

" La plupart des auteurs, en lisant le titre : *Guidi Ubaldi e Marchionibus Montis* qu'on lit en tête de ses ouvrages, ont cru que *Guido* était le nom de baptême et *Ubaldi* celui de la famille. Mais le nom de baptême (nom historique dans la famille Del Monte) était *Guidobaldo*, divisé en deux parties dans la traduction latine. Vous n'avez qu'a regarder la signature de ses lettres dans le Xe volume de mon édition ; le fac-simile (p. 38) dit : " *Guidobaldi d Marchesi d^l^ Monte* „ ; et, du reste, il signe indifféremment : *Guidobaldo de' Marchesi del Monte* ou bien : *Guidobaldo dal Monte* (voir pp. 39, 41, 43, 45, 47). Ce n'est pas moi, par conséquent, mais lui-même qui s'appelait *Guidobaldo dal Monte*, et je ne crois pas qu'on puisse l'appeler d'autre manière. „

(1) B. Boncompagni, *Intorno ad un testamento inedito di Nicolo Tartaglia*, p. 364 (Collectanea mathematica in memoriam D. Chelini ; 1881).

(2) Vincenzo Tonni-Bazza, *Frammenti di nuove ricerche intorno a Nicolò Tartaglia* [Atti del Congresso internationale di Scienze storiche. (Roma, 1-9 Aprile 1903). Roma, 1904. No XXXIII, p. 293].

ERRATA : (1)

TOME I.

Page II, ligne 3 en remontant, *au lieu de* : conséquense, *lisez* : conséquence.

Page 16, ligne 24, *au lieu de* : une corps, *lisez* : un corps.

Page 24, ligne 7, *au lieu de* : en *s* avec *m a*, *lisez* : en *m* avec *m* A.

Page 28, fig. 8. *Marquer n au point où la verticale abaissée du point m rencontre la circonférence.*

Page 45, figure 13, *Le point marqué* B *sur la circonférence doit être marqué* E.

Page 91, formule (1), *au lieu de* : *ab*, *lisez* : *bd*.

Page 136, ligne 21, *au lieu de* : XVIe siècle, *lisez* : XIIIe siècle.

Page 143, figure 26, *les projections des points e et f sur la ligne bc doivent être marqués respectivement p et x.*

Page 146, dernière ligne avant les notes, *au lieu de* : *e t*, *lisez* : *l t*.

Page 167, ligne 19, *au lieu de* : le poids *b*, *lisez* : le poids *c*.

Page 174, lignes 9 et 10, *au lieu de* : AD, AF, DN, *lisez* : AB, AC, BN.

Page 175, ligne 5, *au lieu de* : fig. 44, *lisez* : fig. 45.

Page 190, ligne 11, *au lieu de* : NC entre en BC, *lisez* : AC entre en AN.

Page 213, ligne 8, *au lieu de* : (Chapitre XV, 3), *lisez* : (Chapitre XV, 8).

Page 231, ligne 14, *au lieu de* : auquel, *lisez* : duquel.

Page 238, ligne 22, *au lieu de* : Alberoni, *lisez* : Eugenio Alberi.

Page 245, ligne 6 en remontant, *au lieu de* : *ponderositale*, *lisez* : *ponderositate*.

Page 282, ligne 3, *au lieu de* : issues à, *lisez* : issues de.

Page 283, ligne 4, *au lieu de* : Galilée, *lisez* : Archimède.

Page 284, dernière ligne avant les notes, *au lieu de* : Pigafitta, *lisez* : Pigafetta.

Page 305, ligne 2 en remontant, *au lieu de* : la pesanteur de l'eau du tuyau CB sera, *lisez* : la pesanteur de l'eau du tuyau CB sera à la pesanteur de l'eau du tuyau AC.

Page 309, ligne 19, *au lieu de* : l'angle DPL, *lisez* : l'angle PDL.

Page 315, ligne 7, *au lieu de* : A, *lisez* : E.

Page 320, ligne 7, *au lieu de* : au dessus, *lisez* : au dessous.

Page 353, titre de la note, *au lieu de* : INDENTITÉ, *lisez* : IDENTITÉ.

TOME II.

Page 19, ligne 22 de la note, *au lieu de* : *meteorum*, *lisez* : *meteororum*.

Page 49, ligne 20, *même correction*.

Page 51, note (1), *même correction*.

Page 272, ligne 5 à partir du bas, *au lieu de* : de Wallis, *lisez* : Wallis.

(1) La plûpart de ces *errata* m'ont été signalés par M. Moritz Cantor et par M. Ch. Devin ; je les prie d'agréer le témoignage de ma vive reconnaissance.

Table des auteurs cités dans les deux volumes.

TABLE DES MATIÈRES DU TOME II

A LA MEME LIBRAIRIE

Louvain. — Imp. F. & R. CEUTERICK, 60, rue Vital Decoster.